



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

HISTORIE ELEKTRICKÝCH OCHRAN

HISTORY OF PROTECTION RELAYS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Pavel Šafl

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Zuzana Bukvišová

BRNO 2019

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Pavel Šafl

ID: 195439

Ročník: 3

Akademický rok: 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Historie elektrických ochrann

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Zmapování vývoje elektrických ochrann
2. Výběr vhodného typu historické ochrann pro následné porovnání s ochranou moderní
3. Srovnání vlastností vybraných testovaných zařízení a vytvoření malé expozice za využití starších ochrann

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 20.6.2019

Termín odevzdání: 16.8.2019

Vedoucí práce: Ing. Zuzana Bukvišová

Konzultant:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá mapováním vzniku a historie elektrických ochran. Práce přibližuje, za jakých okolností a jak vznikaly nové typy ochran. Vysvětluje a seznamuje s problémy, které se vyskytly při vývoji a provozu historických ochran.

Na nadproudových ochranách AB31, AT31 a REF615 bylo provedeno měření vypínací charakteristiky pro zhodnocení a srovnání moderní digitální ochrany a historické elektromagnetické ochrany. Závislá ochrana AB31 byla otestována a proměřena, zda funguje dle své závislé charakteristiky a ochrana AT31 byla prověřena, jestli je schopná vybavit zkratový proud. Obě tyto ochrany bylo porovnány a zhodnoceny s digitální ochranou REF615. Výsledky měření a výpočty jsou zpracovány do přehledných tabulek a grafů, které jsou součástí práce.

Další částí bakalářské práce je vybrání vhodných ochran k popisu a zhotovení drobné expozice.

Klíčová slova: Historie elektrických ochran, nadproudová ochrana, závislá ochrana AB31, nezávislá ochrana AT31, digitální ochrana REF615, vypínací charakteristika

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with mapping the origin and history of electrical protections. The work outlines the circumstances and the new types of protection. It explains and introduces problems encountered in the development and operation of historical protections.

On the overcurrent protection AB31, AT31 and REF615, the tripping characteristic was measured to evaluate and compare modern digital protection and historical electromagnetic protection. Dependent protection AB31 has been tested and measured for its dependent characteristics and the AT31 protection has been checked for short-circuit current capability. Both of these protections were compared and evaluated with the REF615 digital protection. The measurement results and calculations are processed into well-arranged tables and graphs that are part of the work.

The last part of this thesis is the selection of suitable protections for describing and making small exposures.

Keywords: History of electrical protections, overcurrent protection, dependent protection AB31, independent protection AT31, digital protection REF615, tripping characteristic

Bibliografická citace:

ŠAFL, Pavel. *Historie elektrických ochran* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-08-14]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/121389>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Zuzana Bukvišová.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma *Historie elektrických ochran* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4. Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.“

V Brně dne: **14. srpna 2019**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucí bakalářské práce Ing. Zuzaně Bukvišové za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: **14. srpna 2019**

.....

podpis autora

Obsah

Seznam obrázků	14
Seznam tabulek	16
Seznam grafů	18
Seznam symbolů a zkratek	19
Úvod.....	20
1. Vznik a začátek mapování ochran	21
2. Elektromechanické ochrany	23
2.1. Vývoj elektromechanické ochrany	23
2.2. Rozváděče	24
2.3. Automatické nadproudové zařízení	24
2.4. Automatické podproudové zařízení	25
2.5. Automatické zařízení pro hlídání zpětného proudu	25
2.6. Měřicí transformátory	26
2.7. První ochrana se zhašecí komorou	26
2.8. Nadproudová ochrana	27
2.9. Ochrana proti přetížení	27
2.10. Směrové relé	29
2.11. Diferenciální ochrana	29
2.12. Ochrana před vysokým napětím	31
2.13. Zemní ochrana statoru	31
2.14. Ochrana proti zemnímu spojení rotoru	34
3. Elektronické ochrany	35
3.1. Začátky elektronických ochran	35
3.2. Elektromagnetické rušení	36
3.3. Statické ochranné relé	37
4. Digitální ochrany	40
4.1. Rozvoj digitální ochrany	40
4.2. První fáze (1966–1974)	41
4.3. Druhá fáze (1972–1981)	42
4.4. Třetí fáze (pozdní 70. léta a počátek 80. let)	43
4.5. První digitální ochrany	43
5. Úvod pro měření nadproudových ochran	45
5.1. Obecný popis nadproudové ochrany	45
5.1.1 Časově závislá charakteristika	46
5.1.2 Časově nezávislá charakteristika	46
5.1.3 Mžiková charakteristika	46
5.1.4 Polozávislá charakteristika	46
6. Měření závislé nadproudové ochrany AT31	48
6.1. Popis ochrany AT31	48

6.1.1	Provedení	48
6.1.2	Nadproudové měřicí články.....	48
6.1.3	Časový článek	49
6.1.4	Koncové relé	49
6.2.	Měření na nadproudové ochraně nezávislé AT31X.....	49
6.3.	Průběh měření na ochraně AT31.....	50
7.	Měření závislé nadproudové ochrany AB31	52
7.1.	Popis nadproudové ochrany AB31.....	52
7.1.1	Provedení	52
7.1.2	Nadproudové články pro přetížení.....	52
7.1.3	Ochrana proti zkratu	53
7.2.	Měření spouště proti přetížení na ochraně AB31	54
7.3.	Měření spouště proti zkratu na ochraně AB31	56
8.	Měření na digitální ochraně ABB REF615.....	57
8.1.	Popis ochrany	57
8.2.	Funkční princip ochrany	58
8.3.	PHIPTOC1	58
8.4.	DPHHPDOC2	58
8.5.	Postup nastavení REF615	58
8.6.	Nastavení parametrů ochrany.....	58
8.7.	Postup měření DPHLPDOC2.....	59
8.8.	Postup měření PHIPTOC1	60
9.	Výsledky měření	62
9.1.	Zhodnocení měření na ochraně AT31	62
9.1.1	Zhodnocení měření mžikové charakteristiky.....	62
9.1.2	Zhodnocení měření nezávislé nadproudové charakteristiky.....	63
9.2.	Zhodnocení měření na ochraně AB31.....	66
9.2.1	Zhodnocení měření nadproudové spouště při přetížení.....	66
9.2.2	Zhodnocení obnovy zařízení zpět do plného provozu.	69
9.2.3	Zhodnocení měření AB31 proti zkratu	71
9.3.	Zhodnocení a porovnání nadproudové funkce ochrany REF615 a ochrany AB31 při přetížení.	71
9.4.	Zhodnocení a porovnání nadproudové funkce ochrany REF615 a ochrany AT31 při zkratu.	75
10.	Expozici historických ochran.....	77
10.1.	Zemní směrová ochrana GSS 11	78
10.2.	Napěťová ochrana V32.....	79
10.3.	Časová nadproudová ochrana AT31	80
10.4.	Časové nadproudové relé AB31	81
	Závěr	82

Literatura.....	83
Přílohy.....	86

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1</i> Přerušovač v berlínské elektrárně [2]	23
<i>Obr. 2</i> Ochrana proti 1) podpětí 2) zpětnému proudu 3) nadproudu [2]	24
<i>Obr. 3</i> Automat pro vypnutí buzení (vlevo) a Nadproudová ochrana (vpravo) [2]	25
<i>Obr. 4</i> Nadproudová spoušť AEG, 1905 (vlevo) a Zpětné proudové zařízení (vpravo) [2]	26
<i>Obr. 5</i> První časové nadproudové relé ASEA, 1905 (vlevo) Automatické vypínání stroje, 1905 (vpravo) [2]	27
<i>Obr. 6</i> Topná relé pro odečet teploty [2]	28
<i>Obr. 7</i> Nadproudové relé firmy BBC, 1950 [2]	28
<i>Obr. 8</i> Reverzní a nadproudová ochrana (vlevo) Směrové relé (vpravo) [11]	29
<i>Obr. 9</i> Diferenciální ochrana (vlevo) a Byrdův transformátor (vpravo) [3]	30
<i>Obr. 10</i> Jednoduchá diferenciální ochrana BBC [11]	30
<i>Obr. 11</i> Relé proti zvýšení napětí (vlevo) a Statické relé se dvěma vstupy (vpravo) [4]	31
<i>Obr. 12</i> Signalizace poruch [4]	32
<i>Obr. 13</i> Deska ochrany generátoru s odporem v horní části [5]	33
<i>Obr. 14</i> Směrové relé Siemens, 1950 [4]	33
<i>Obr. 15</i> Ochrana proti zemnímu spojení rotoru AEG (1940) [5]	34
<i>Obr. 16</i> Nadproudové relé SMK381 [7]	37
<i>Obr. 17</i> Ochrana Siemens použita na první lince v Palermu [7]	37
<i>Obr. 18</i> Relé RAZOG ASEA s polygonálními vlastnostmi [7]	38
<i>Obr. 19</i> Rozváděč vysokého napětí v Mannheimu [7]	39
<i>Obr. 20</i> Polygonální char. ochrany z roku 1979 [9]	42
<i>Obr. 21</i> První plně numerický multifunkční terminál pro ochranu vzdálenosti RELZ100 (vlevo) Digitální ochrana PD 531 (vpravo) [10]	43
<i>Obr. 22</i> Ochrana proti přepětí Basler [10]	44
<i>Obr. 23</i> Časově nezávislá charakteristika (vlevo) Časově závislá charakteristika (vpravo)[13]	46
<i>Obr. 24</i> Mžiková charakteristika (vlevo) a charakteristika časově polozávislé (vpravo) [13]	47
<i>Obr. 25</i> Nastavení napájecího napětí z DC výstupu Omicronu	49
<i>Obr. 26</i> Schéma zapojení ochrany AT31 k testovacímu zařízení Omicron	50
<i>Obr. 27</i> Nastavení měření v QuickCMC	51
<i>Obr. 28</i> Popis ochrany AB31 s popisem částí ochrany	53
<i>Obr. 29</i> Ukázka a popis tepelné spouště	54
<i>Obr. 30</i> Schéma zapojení ochrany AB31 k testovacímu zařízení	55
<i>Obr. 31</i> Proudová nastavení ochrany REF615	57
<i>Obr. 32</i> Ukázka nastavení DPHLPDOC2	59

<i>Obr. 33 Ukázka nastavení parametrů PHIPTOC1</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 34 Závislá charakteristika s dlouhou závislostí [21]</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 35 Ukázka expozice tvořená čtyřmi exponáty s popisem</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 36 Schéma ochrany GSS 11</i>	<i>78</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka: 1 Měřené hodnoty pro ověření zpoždění na všech částech ochrany</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka 2: Tabulka pro koeficienty α a β nadproudových IEC charakteristik [12]</i>	<i>60</i>
<i>Tabulka 3: Měřené hodnoty pro měření okamžité spouště ochrany AT31</i>	<i>63</i>
<i>Tabulka 4: Měřené hodnoty pro čas vybavení ochrany AT31 při zkratu pro 6 A při různém čase</i>	<i>64</i>
<i>Tabulka 5: Měřené hodnoty pro čas vybavení ochrany AT31 při zkratu při různém nastaveném proudu ochranou.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabulka 6: Měřené hodnoty vybavení ochrany a vypočtené hodnoty chyby ochrany AB31</i>	<i>68</i>
<i>Tabulka 7: Vypočtené hodnoty průměrné chyby na fázi ochrany AB31</i>	<i>68</i>
<i>Tabulka 8: Tabulka pro koeficienty α a β nadproudových IEC charakteristik [13]</i>	<i>68</i>
<i>Tabulka 9: Měřené hodnoty pro ochlazení bimetalové spouště ochrany AB31</i>	<i>70</i>
<i>Tabulka 10: Měřené hodnoty času vybavení pro nadproudovou ochranu AB31</i>	<i>71</i>
<i>Tabulka 11: Měřené hodnoty digitální ochrany REF615 a vypočtené hodnoty chyby přístroje.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabulka 12: Vypočtené hodnoty chyb měřených ochrany AB31 a REF615.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabulka 13: Srovnání naměřených a vypočtených hodnot ochrany AB31 a REF615 pro fázi L1</i>	<i>73</i>
<i>Tabulka 14: Naměřené hodnoty nezávislé ochrany REF615 pro různá nastavení času zpoždění</i>	<i>75</i>
<i>Tabulka 15: Vypočtené hodnoty chyb ochrany vůči nastavené hodnotě</i>	<i>76</i>
<i>Tabulka 16: Technické parametry zemní ochrany [20].....</i>	<i>78</i>
<i>Tabulka 17: Technické parametry ochrany V32 [19]</i>	<i>79</i>
<i>Tabulka 18: Technické parametry ochrany AT31 [15]</i>	<i>80</i>
<i>Tabulka 19: Technické parametry ochrany AB31 [16]</i>	<i>81</i>
<i>Tabulka 20: Měřené hodnoty pro čas vybavení ochrany AT31 při zkratu pro 10 A při různém čase.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabulka 21: Měřené hodnoty pro čas vybavení ochrany AT31 při zkratu pro 15 A při různém čase.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabulka 22: Měřené hodnoty pro čas vybavení ochrany AT31 při zkratu pro 20 A při různém čase.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabulka 23: Měřené hodnoty času vybavení ochrany AT31 při zkratu pro 25 A při různém čase</i>	<i>87</i>
<i>Tabulka 24: Měřené hodnoty času vybavení ochrany AT31 při zkratu pro 30 A při různém čase</i>	<i>87</i>
<i>Tabulka 25: Měřené hodnoty pro čas vybavení ochrany AT31 při zkratu pro 15 A při různém čase při 1,5·In.....</i>	<i>88</i>

<i>Tabulka 26: Měřené hodnoty času vybavení ochrany REF615 při zkratu pro 10 A při různém čase.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabulka 27: Měřené hodnoty času vybavení ochrany REF615 při zkratu pro 15 A při různém čase.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabulka 28: Měřené hodnoty času vybavení ochrany REF615 při zkratu pro 20 A při různém čase.....</i>	<i>89</i>

SEZNAM GRAFŮ

<i>Graf 1: Vypínací charakteristika ochrany AT31 pro měření nastavení okamžité spouště. Červeně jsou zaznamenány hodnoty s časovým členem a zeleně bez časového členu ...</i>	63
<i>Graf 2: Vypínací charakteristika ochrany AT31 pro nastavenou hodnotu zpoždění 1 s, při měření všech tří fází</i>	65
<i>Graf 3: Vypínací charakteristika ochrany AT31 pro nastavenou hodnotu zpoždění 2 s, při měření všech tří fází</i>	65
<i>Graf 4: Vypínací charakteristika ochrany AT31 pro nastavenou hodnotu zpoždění 3 s, při měření všech tří fází</i>	66
<i>Graf 5: Vypínací charakteristika ochrany AB31 pro proud 6-30 A pro každou fázi zvlášť</i>	69
<i>Graf 6: Závislost času chlazení ochrany na proudu protékajícím před vybavením ochrany</i>	70
<i>Graf 7: Vypínací charakteristiky ochran REF615 (zeleně), AB31 (modře) a vypočtené hodnoty (červeně)</i>	74
<i>Graf 8: Grafické znázornění chyby ochrany REF615 (modře) a ochrany AB31 (červeně) v závislosti na proudu pro fázi L1</i>	74
<i>Graf 9: Grafické znázornění chyby ochrany REF615 (modře) a ochrany AT31 (červeně) v závislosti na proudu pro fázi L1</i>	76

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

I_p	[A]	Hodnota pro nastavení nadproudového článku
I_{kMIN}''	[A]	Minimální hodnota zkratového proudu
I_{Zmax}	[A]	Maximální okamžitá hodnota proudu zátěže
I_n	[A]	Jmenovitá hodnota proudu
t_m	[s]	Naměřená doba
t	[s]	Vypínací čas ochrany
k	[-]	Časový násobitel
I	[A]	Velikost poruchového proudu
I_B	[A]	Velikost rozběhového proudu
α, β	[-]	Koeficienty pro výpočet závislé charakteristiky
t_{mL1}	[s]	Čas měřený na fázi L1
t_{mL2}	[s]	Čas měřený na fázi L2
t_{mL3}	[s]	Čas měřený na fázi L3
t_n	[s]	Nastavená hodnota zpoždění
t_v	[s]	Vypočtená hodnota času vybavení
δ_L	[%]	Vypočtená chyba měřícího přístroje
$\delta_{\bar{x}L}$	[%]	Průměrná hodnota chyby
PTP	[-]	Přístrojový transformátor proudu
PTN	[-]	Přístrojový transformátor napětí

ÚVOD

V dnešní moderní době je kladen značný důraz na bezpečnost, spolehlivost a ochranu zařízení v elektrických sítích. Bohužel, ani v současnosti nejsme schopni realizovat distribuční nebo přenosovou soustavu, která by se nepotýkala s poruchami, a proto je nutné stále používat ochranné prvky. Tyto ochranné prvky mají historii stejně dlouhou, jako je samotný přenos elektrické energie. Již v 19. století, kdy vznikaly první parní turbíny, které poháněly dynama, se začala objevovat potřeba tato zařízení chránit. Tato zařízení bylo potřeba chránit, jak z hlediska ochrany osob, tak i z hlediska materiálních škod.

Přestože, se na ochrany zprvu příliš nedbalo a jediným ochranným prvkem byly nožové vypínače ovládané ručně, s postupem času začal význam chránění narůstat. Provozovatelé sítí brzy pochopili, že se bez vývoje a nasazování ochran neobejdou.

Cílem teoretické části bakalářské práce je zmapovat vývoj elektrických ochran a rozdělit je do tří oblastí, dle jejich historického vývoje. Tyto tři oblasti ochran jsou rozděleny na ochrany elektromechanické, které používají jako hlavní prvek elektromagnetické relé a mechanické části jako jsou pružiny bimetalové pásy apod. Další oblastí jsou ochrany elektronické, které začaly používat elektronické prvky jako jsou například tranzistory, a dále ochrany digitální, které začaly používat mikroprocesory paměti a další prvky. Mapování začíná již u vzniku prvních přenosů energií a končí až u moderních digitálních ochran.

První praktická část bakalářské práce se věnuje měření a srovnání starších elektromagnetických ochran a funkcí digitálních ochran. Do této části byly vybrány ochranné funkce, které jsou používány již od elektromagnetických ochran a stále se používají v moderních digitálních přístrojích, aby bylo možné provést srovnání a zhodnocení.

Druhá praktická část bakalářské práce se zabývá vytvořením menší expozice starších elektromagnetických ochran pro ukázkou principu jejich funkce.

1. VZNIK A ZAČÁTEK MAPOVÁNÍ OCHRAN

První výzkumy probíhaly již v 17. a 18. století. V roce 1831 výzkumy postupně směřovaly k objevu elektromagnetické indukce. Tento objev učinil M. Faraday. Na základech, které položil, byl následně vynalezen generátor proudu, oblouková lampa a o deset let později i elektrická žárovka. Po těchto vynálezech už bylo jasné, že elektrina ovládne svět [1].

Dalším krokem bylo používání stejnosměrného proudu na osvětlení. Tento krok byl uskutečněn již v roce 1870. Nejdříve tento nový trend začal fungovat ve velkých továrnách, poté ve veřejných budovách a jako poslední se dostaly na řadu domácnosti. Na našem území bylo provedeno první osvětlení v roce 1878 v tkalcovně v Moravské Třebové. Dalším velkým krokem bylo elektrické osvětlení Mahenova divadla v Brně. Toto osvětlení prováděla společnost amerického vynálezce T. A. Edisona. Pro tuto budovu byla jako zdroj elektrické energie použita parní turbína a dynamo. Jakmile bylo osvětlení rozšířeno, vznikla otázka, jak elektřinu přenášet na delší vzdálenosti [1].

První pokus o přenesení elektrické energie na delší vzdálenost byl proveden v Mnichově k příležitosti mezinárodní výstavy. Na této výstavě byl proveden pokus s přenosem elektrické energie na vzdálenost 57 km. Na této soustavě bylo použito stejnosměrné napětí o 2 kV. Účinnost tohoto přenosu byla jen 22 %. Bohužel, kvůli mále efektivitě transformace na vyšší hodnoty nešlo elektrickou energii přenášet na delší vzdálenosti, proto vznikaly lokální elektrárny, které byly v blízkosti okamžité spotřeby [1].

Na začátku dodávky elektrické energie (1880–1890) byl význam spínacích zařízení malý. Byly spuštěny malé elektrárny pro osvětlení domů a komerčních budov. Pro dynamo s výkonem 15 až 25 kW stačily spínané nože, pojistkové pásy a jednoduchá žárovka pro kontrolu napětí. První větší centrální stanici a první veřejnou elektrickou službu v New Yorku (Pearl Street) začal provozovat T. A. Edison 4. září 1882. Nejdříve použil tři generátory proudu a následně šest generátorů Jumbo o výkonu 150 kW a napětí 110 V. Tyto generátory měly rychlost otáčení 1200 ot/min. Označení Jumbo získaly kvůli své velikosti. T. A. Edison vyvinul komplikovaný osvětlovací systém s linkami, rozváděči, pojistkami, jističi a měřicími zařízeními. V roce 1885 byla v Berlíně uvedena do provozu první veřejná elektrárna v Německu se šesti parními stroji. Tyto turbíny měly výkon 110 kW a poháněly 12 dynam. Celkový výkon elektrárny byl 540 kW. Jednalo se o 110 V stejnosměrnou síť, která byla provedena dvou vodičovým připojením [1].

První přepínací zařízení byla víceméně dočasná, kvůli nedostatku zkušeností a omezených znalostí v této oblasti. Přístroje byly jen manuální a jednoúčelové. Takovým příkladem byl přerušovač u generátoru v berlínské elektrárně, který umožnil nouzové vypnutí celé sítě.

Tento přerušovač byl navržen na jmenovitý proud přibližně 2000 A a jmenovité napětí 2x110 V stejnosměrných. Toto zařízení bylo velmi složité na obsluhu, a navíc uhašení oblouku při poruše bylo obtížné, a to i při nízkých napětích. První spínací zařízení pocházejí z laboratoří nebo z telegrafního průmyslu (spínače a tlačítka). Vzhledem k tomu, že tato zařízení nesplňovala požadavky na velké výkony, inženýři se jim vyhýbali, anebo se je snažili upravit. V době zavedení střídavého proudu probíhal výzkum na zhášení oblouku. Průkopník střídavého proudu S. Z. de Ferranti, byl první, kdo použil olej jako zhášecí prostředek. S. Z. de Ferranti sestrojil zařízení, které po otevření kontaktu zasunulo pohyblivou část do oleje, a tím uhasilo oblouk (1894). První vysokonapěťové zařízení pracující zcela v oleji vyvinul C. Brown (jeden ze zakladatelů společnosti Brown, Boveri & Cie) ve Švýcarsku v roce 1897. C. Brown přemluvil P. Volta v Miláně, aby mu zapůjčil vzduchový jistič (5 kV), a poté provedl nutné úpravy a ponořil jej do oleje. Tento pokus byl po úpravách vypínače velmi úspěšný. Ve stejném roce byl vyvinut nový 16kV vypínač pro elektrárnu v Padernu [2].

Současně se začalo od roku 1885 pracovat i se střídavým přenosem. Mohl za to vynálezce N. Tesla, který zkonstruoval indukční střídavý motor. Z poznatků byl zkonstruován první transformátor pro široké uplatnění. Jakmile sestrojil indukční motor, začala se používat dvoufázová síť. Tato síť byla nevhodná, a proto bylo zapotřebí vynalézt systém třífázový. Tento systém, na rozdíl od dvoufázového, potřebuje tři vodiče, ale je schopen přenést třikrát větší výkon než jednofázový systém, který využíval jen o jeden vodič méně. Od tohoto momentu začala střídavá síť vytlačovat stejnosměrnou, až nakonec zvítězila. Těmito objevy a vynálezy bylo ukončeno 19. století a započalo nové, které již pomalu začalo přinášet klasické koncepty dnešní elektrizační soustavy [1].

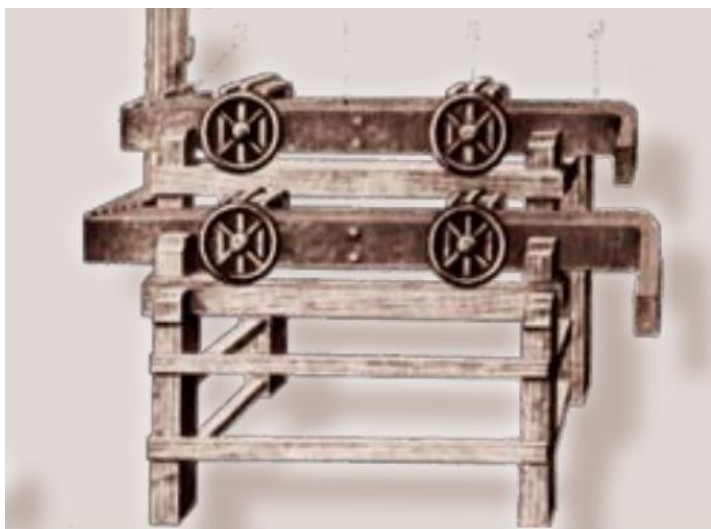
Dnešní elektrizační soustava je složena z prvků na výrobu, transformaci, přenos, rozvod, spotřebu elektrické energie a elektrické ochrany. Elektrické ochrany jsou v elektrické soustavě pro minimalizování škod, které jsou způsobeny například poruchami na vedení. Ochrany musí chránit veškeré části soustavy jako jsou kabely, vedení, transformátory, generátory, vypínací prvky, měřicí zařízení apod. Elektrická ochrana se dá chápat jako prvek, který detekuje poruchu na určité části vedení a v požadované době obvod přeruší, a tím chrání soustavu. Elektrické ochrany zařízení chrání jen před krátkodobými účinky poruch v rozmezí desítek milisekund až minuty. Chráněná část sítě je nazývaná chráněným objektem a naopak vše, co je mimo tuto oblast, je okolí objektu. Stavové proměnné jako je proud, napětí, teploty, sycení apod. udávají soubor stavových proměnných X . Chráněný objekt je svázán s okolím stavovými proměnnými. Je to soubor stavových veličin, které jakýmkoli způsobem mohou ovlivnit okolí objektu. Ochrany můžeme dělit podle poruchy, kterou mají vybavit, jako je třeba zkrat, přetížení, zemní spojení, ztráta buzení, nebo výkyvy frekvence. Další dělení může být na základě principu fungování ochrany, a to na nadproudové, distanční, srovnávací, frekvenční, kostrové a další. Další dělení nám může říct o času působení ochrany, anebo o prvcích, co ochrana používá [3].

2. ELEKTROMECHANICKÉ OCHRANY

V této kapitole bakalářské práce je kompletní rešerše elektromechanických ochran. Ochrany jsou až na malé výjimky, chronologicky seřazeny dle historického vývoje. Do této kapitoly byly vybrány ochrany, které byly nejdůležitější v době jejich vzniku a ochrany, které byly následně upraveny a jejich principy byly přeneseny do modernějších ochran. U každé ochrany je sepsán popis, kdy ochrana vznikla, jak ochrana fungovala a k čemu se používala.

2.1. Vývoj elektromechanické ochrany

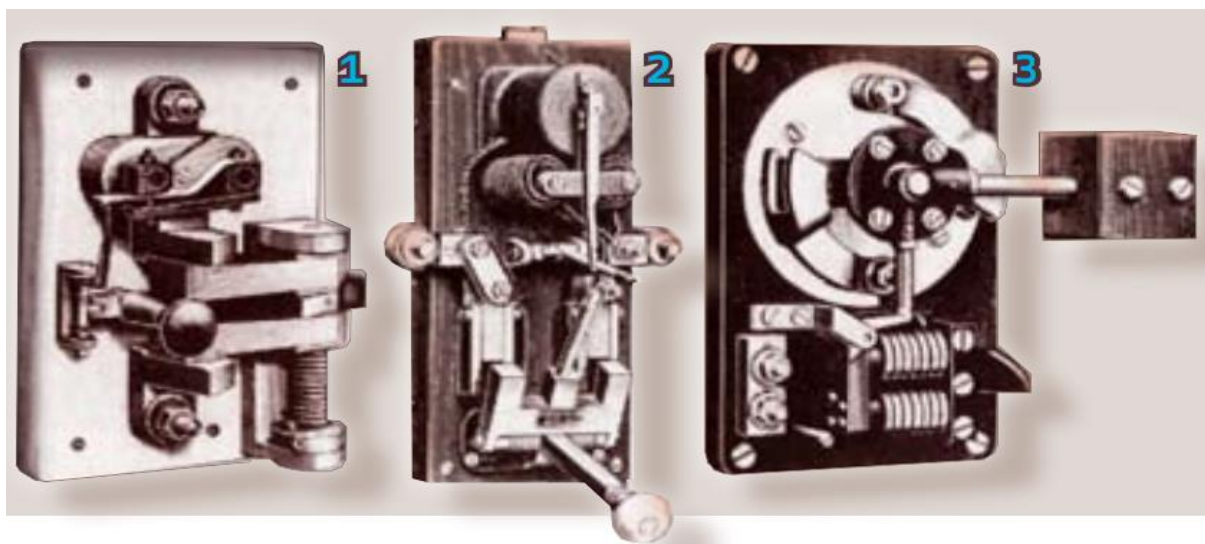
První ochranná zařízení, která se dala nazývat ochranami, byly pojistky v řadě s nožovými spínači nebo vypínači. Před tím byly na generátoru pouze pojistky a např. žárovka pro signalizaci napětí. Toto řešení bylo nevyhovující, jelikož v případě selhání byla celá síť (v této době velmi malá) bez napájení. Proto byly v letech 1885–1890 vyvinuty první automatické ochranné prvky. První automatický vypínač vyrobil vynálezce H. Meyer v roce 1886. Tento vypínač byl tvořen nožovým spínačem a elektromechanickým relé (obr. 1).



Obr. 1 Přerušovač v berlínské elektrárně [2]

Vybavení proběhlo, jakmile začal obvodem téct proud, který byl o 10 % větší než jmenovitý. Principiálně fungovalo zařízení tak, že když obvodem začal téct větší proud, tak elektromagnetické relé přitáhlo válcovou kotvu, která držela vodič a ten samovolně spadl na zem a rozpojil obvod [2].

Úkolem prvních automatických zařízení bylo vybavit během nadproudu nebo při nesprávném směru proudu. Tyto první ochranné přístroje lze vidět na obr. 2. Vypnutí bylo provedeno díky elektromagnetické spoušti. První průmyslový přenos elektrické energie se uskutečnil v roce 1887 ve Švýcarsku, kdy bylo uvedeno do provozu stejnosměrné vedení z Kriegstetten do Solothurnu. Toto vedení bylo dlouhé 8 km a napětí bylo 2500 V [2].



Obr. 2 Ochrana proti 1) podpětí 2) zpětnému proudu 3) nadproudu [2]

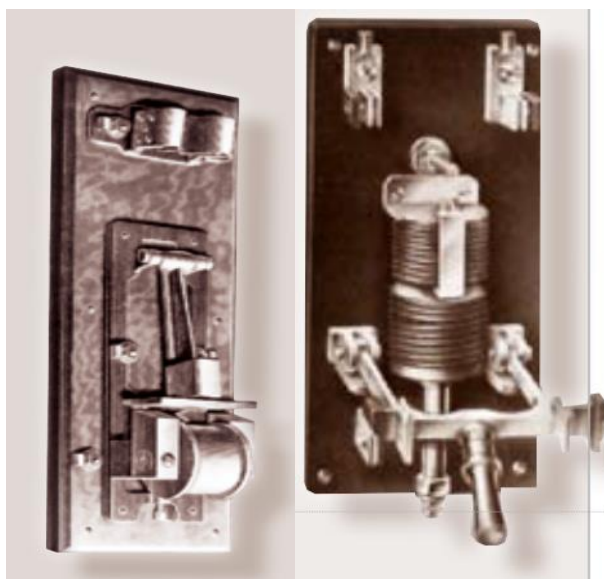
2.2. Rozváděče

Na konci 19. století (1880–1890) se výroba a rozvod elektrické energie skládala z parní turbíny, která poháněla dynama připojené k rozváděči, který ležel na podstavci z dřevěných prken. Dřevo bylo v té době považováno za dobrý izolátor. Na podstavci byly připojeny čtyři nožové pojistky a elektromagnetická relé, která byla schopna vybavit hlavní vypínač. Slovo "deska" (německy "Brett") se stále používá pro svorkovnice generátorů a motorů [2].

2.3. Automatické nadproudové zařízení

V roce 1885 američtí inženýři vybavili nožový spínač velkými elektromagnety (obr. 3 vpravo). Po připojení napětí drží elektromagnety nůž v poloze sepnuto. Ke zhášení se používaly kontakty s uhlíkem, které se při zapálení oblouku opalovaly a musely se často měnit. V případě, že proud přesáhl dovolenou hranici na generátoru, se automatická ochrana spustila a odpojila buzení. Odpojení zapříčinila pružina, která nůž stáhla dolů. Pozdější nadproudové automaty musely být vybaveny silnější pružinou, kvůli spékání kontaktů. Později se přešlo na opačný princip. Při spuštění se nůž natáhl do polohy sepnuto a byl přidržován pružinou. Pokud proud přesáhl nastavenou hodnotu, tak za pomoci elektromagnetu se přepínač přesunul do polohy vypnuto a rozpojil obvod.

Nejmenší možná hodnota proudu, která zapříčinila vybavení, musela být větší o 30 % než jmenovitá hodnota proudu. Tento princip lze vidět na obr. 3 vlevo [2].



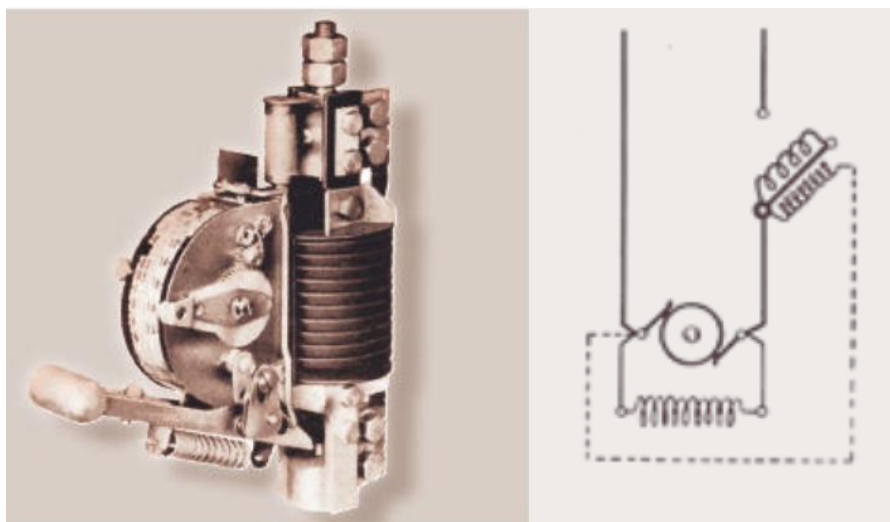
Obr. 3 Automat pro vypnutí buzení (vlevo) a Nadproudová ochrana (vpravo) [2]

2.4. Automatické podproudové zařízení

Úkolem automatických podproudových zařízení bylo vypnout paralelně provozované generátory v případě poklesu proudu generátoru, aby se předešlo zpětnému proudu z baterie do generátoru. Moment, kdy došlo k vybavení, závisel na předchozím magnetizačním proudu. Čím vyšší bylo skutečné zatížení, tím nižší pokles proudu způsobil vybavení. Požadovaná minimální hodnota byla 85 % jmenovitého proudu do roku 1882, po roce 1882 byla minimální hodnota proudu už 95 %. Tato zařízení nebyla dlouho v provozu, jelikož způsobovala značné problémy [2].

2.5. Automatické zařízení pro hlídání zpětného proudu

Kvůli nepřesnostem vznikajícím u některých poloautomatických a automatických nadproudových ochran, byla namísto nich použita ochrana, která nereagovala jen na nadproud, ale také na směr proudu. Vypínací relé bylo vybaveno proudovou a napěťovou cívkou. Během normálního provozu obě cívky působily silami proti sobě a jakmile se objevil zpětný proud nebo nadproud, tak jednou cívkou začal téct větší proud než druhou a ochrana vybavila (obr. 4 vpravo) [2].



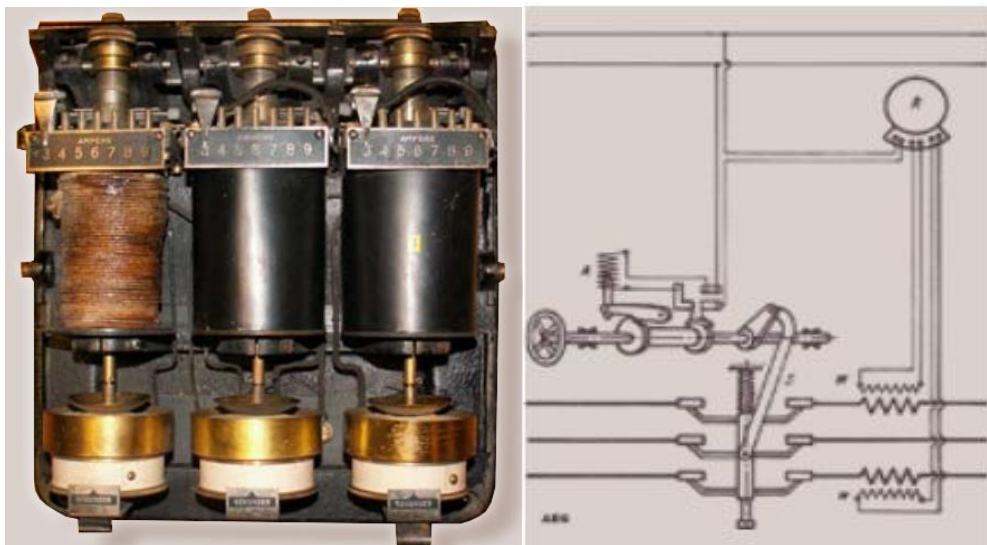
Obr. 4 Nadproudová spoušť AEG, 1905 (vlevo) a Zpětné proudové zařízení (vpravo) [2]

2.6. Měřicí transformátory

Zvýšení poptávky po energii a přenosu elektrické energie na dlouhé vzdálenosti, mělo za následek výstavbu větších generátorů, popřípadě jejich paralelní provoz. To vyžadovalo použití nových ochranných prvků. Bohužel, docházela místa, kam tyto ochrany umístit. Pracovat u těchto zařízení bylo životu nebezpečné a často docházelo k úrazům. Další velkou nevýhodou, byla nutnost k zařízení natáhnout veškerou kabeláž. Díky těmto problémům byly vynalezeny měřicí transformátory proudů a napětí. První napěťový transformátor byl v roce 1879 použit ve výrobě svítidel v Kalifornii. Podobný typ transformátoru, který se používá dnes, byl vynalezen G. Benischkem v roce 1898. A od roku 1900 byly realizovány první ochrany s proudovými transformátory. Na obr. 5 vpravo lze vidět první schéma měřících transformátoru u ochrany [2].

2.7. První ochrana se zhášecí komorou

V roce 1901 byl vyvinut a vyroben první olejový vypínač se dvěma vypínacími cívkami, které byly přímo připojeny k proudovým transformátorům. Na obr. 5 vlevo je znázorněna automatická ochrana stroje s nadproudovým relé, které bylo napájeno přes proudové transformátory. Vývoj prováděla firma AEG a první zařízení se dostalo do elektráren v roce 1905. Obr. 4 vlevo ukazuje řešení s pomocným napájením. Nicméně, toto řešení bylo neuspokojivé, protože ochrana nedokázala reagovat dost rychle, a tím ohrožovalo chráněné zařízení. Další velký problém nastal, při zapálení elektrického oblouku, který držel kontakty u sebe a zařízení nevybavilo [2].



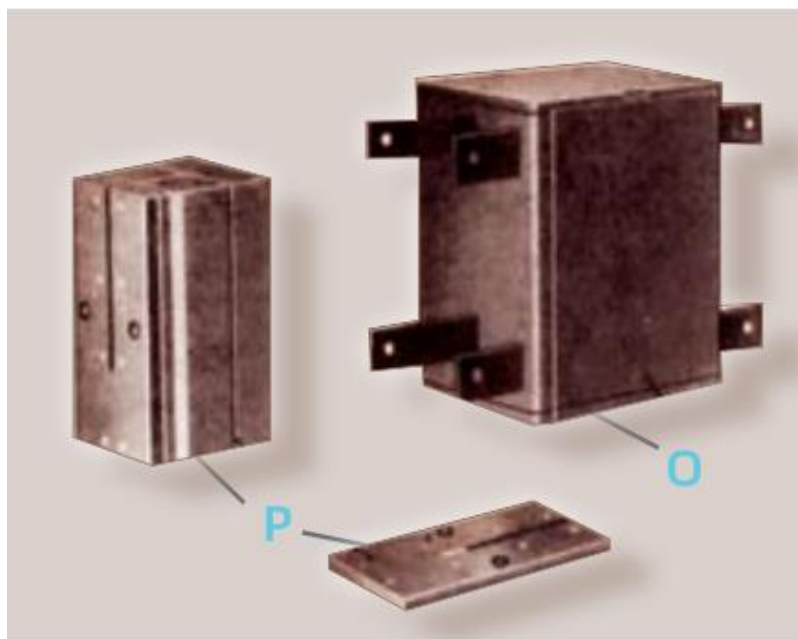
Obr. 5 První časové nadproudové relé ASEA, 1905 (vlevo) Automatické vypínání stroje, 1905 (vpravo) [2]

2.8. Nadproudová ochrana

Již od počátku byla hlavním ochranným prvkem generátoru nadproudová ochrana. Chránila generátor proti vnitřnímu poškození a sloužila rovněž jako záloha pro ochrany transformátorů a vedení. První samostatné nadproudové relé bylo navrženo již v roce 1904. O rok později bylo firmou ASEA (nyní ABB) vyrobeno první časově závislé nadproudové relé, které lze vidět na obr. 5 vlevo. Nadproudová ochrana byla použita na elektrifikovanou železnici z Kiruna do Luleå, která byla postavena pro přepravu železné rudy. Byla to první elektrifikovaná železnice ve Švédsku a první použití závislé nadproudové ochrany [2].

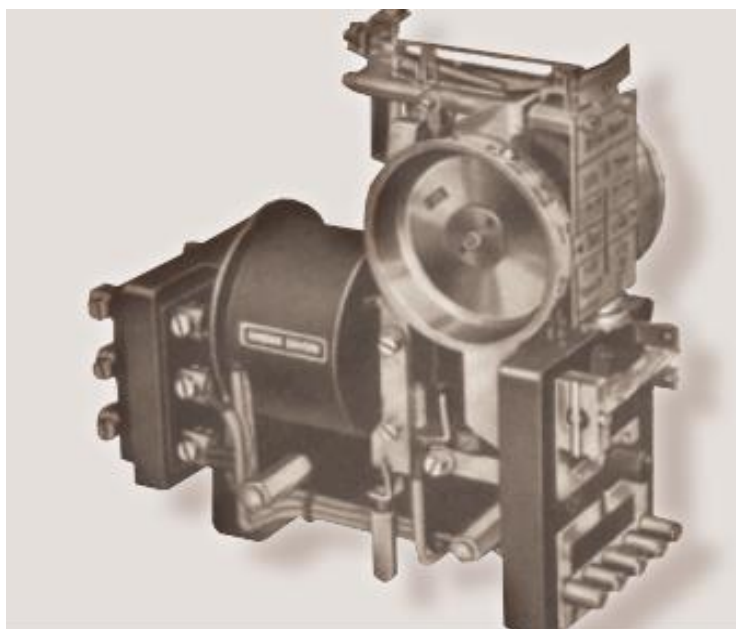
2.9. Ochrana proti přetížení

Použití tepelných relé pro ochranu generátorů bylo zavedeno výhradně v Evropě a bylo velmi úspěšné. Německá ustanovení vyžadovala, aby generátory s jmenovitým výkonem větším než 5 kVA používaly šest odporových teploměrů nebo termoelektrických prvků ve statoru, aby dohlížely na teplotu vinutí. Jakmile byly jednou nainstalovány, bylo velice obtížné se k nim znovu dostat. Z toho důvodu, se v případě poruchy měnily poměrně zřídka. Tepelná relé se tedy jevila jako vhodná náhrada. Tato zařízení byla vybavena termoelektrickými prvky jako je topné relé. Přes toto relé byl veden proud úměrný proudu ve stroji, a tím šlo získat celkem přesný obraz teploty stroje. Část přístroje je zobrazen na obr. 6, celý přístroj pak na obr. 7 [2].



Obr. 6 Topná relé pro odečet teploty [2]

Uvnitř byl zdroj tepla, měřící prvek a zásobník tepla "P". Zdrojem tepla byl tenký plíšek vyrobený z odporového materiálu. Tento plíšek zahříval měřící prvek, skládající se z vyměnitelných měřících destiček. Tepelná časová konstanta byla nastavitelná počtem destiček v šesti stupních od 20 do 110 minut. Kromě toho byla relé vybavena vypínacím zařízením [2].

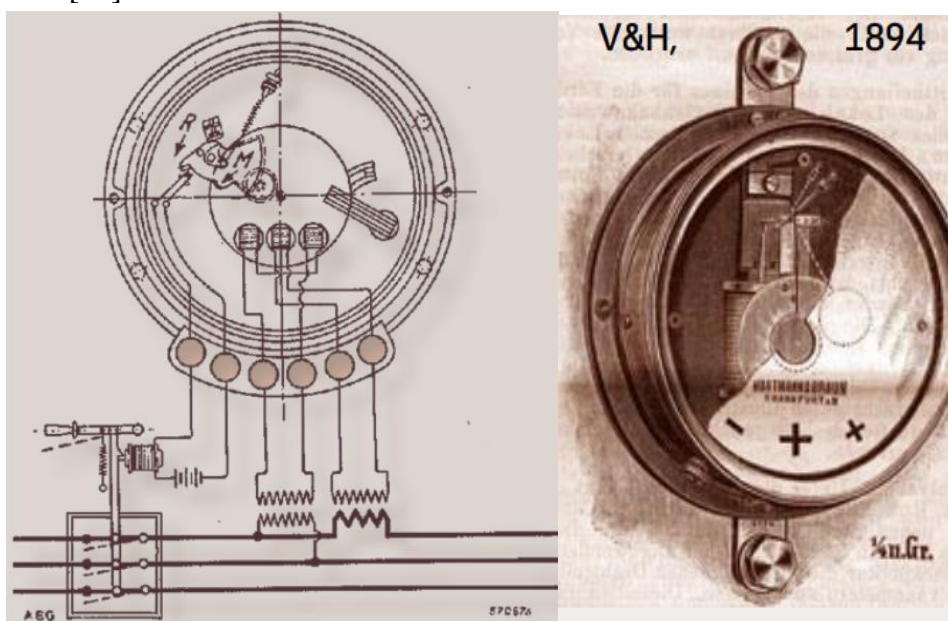


Obr. 7 Nadproudové relé firmy BBC, 1950 [2]

2.10. Směrové relé

Směrová relé byla použita k rozlišení mezi zkraty na sběrnici, zkraty na napájecích zdrojích a zkraty na generátoru (obr. 8 vpravo). Relé zjišťovala, zda proud proudí z generátoru do sítě nebo v opačném směru. Tato relé používala proudové transformátory [4].

Kombinovaná nadproudová a zpětná wattová relé pro generátory byla uvedena v roce 1903 společností AEG (obr. 8 vlevo). Při normálním směru proudu i při velkém nadproudu se relé zpožďovala, v případě zpětného proudu působila víceméně ihned. V roce 1920 byly generátory vybaveny nejméně dvoufázovým nebo v lepším případě třífázovým vypínacím zařízením, reagujícím na zpětný proud s velmi citlivým nastavením. Relé měla vybavit pouze v případě vnitřních poruch. V případě vybavení ochrany, muselo být vypnuto buzení generátoru. Tím se zabránilo vzniku požáru ve vinutí generátorů [11].

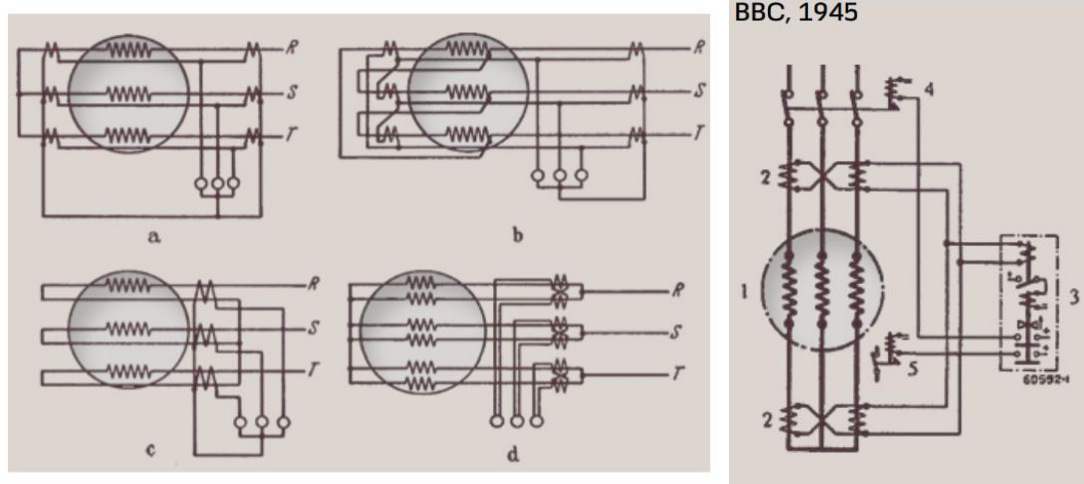


Obr. 8 Reverzní a nadproudová ochrana (vlevo) Směrové relé (vpravo) [11]

2.11. Diferenciální ochrana

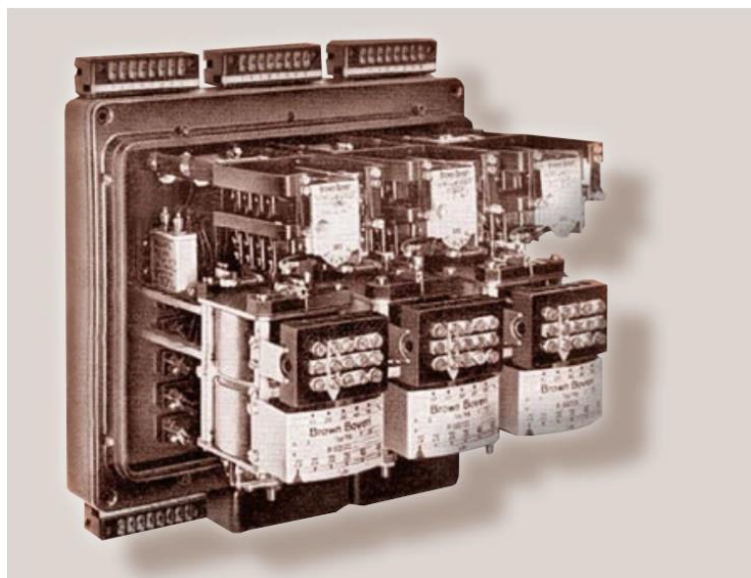
Účinnou ochranu proti zkratu přinesl až vývoj rozdílové ochrany. Na obr. 9 vlevo lze vidět různá zapojení pro diferenciální ochrany. Diferenciální relé vyrobená firmou AEG v roce 1925, pracovala bez časového zpoždění. Další výzkum prokázal, že bez selektivity jsou tato relé nepoužitelná, a proto začala pracovat na Ferrarisově principu. Tento princip byl založen na vybavení ochrany při malých proudech s časovým zpožděním. U velkých proudů působila ochrana okamžitě. Podle požadavků zákazníků byla vyráběna dvoufázová a třífázová zařízení s časovým zpožděním o rozsahu od 1 do 6 s. Vhodným obvodem byl magnetický diferenciál – Byrdův transformátor, který je znázorněn na obr. 9 vpravo. Železné jádro bylo spojeno na začátku a na konci každého

sloupku. Sekundární vinutí bylo připojeno k diferenciálnímu relé. Mohla být připojena i další zařízení jako jsou nadproudová relé a měřící přístroje [11].



Obr. 9 Diferenciální ochrana (vlevo) a Byrdův transformátor (vpravo) [3]

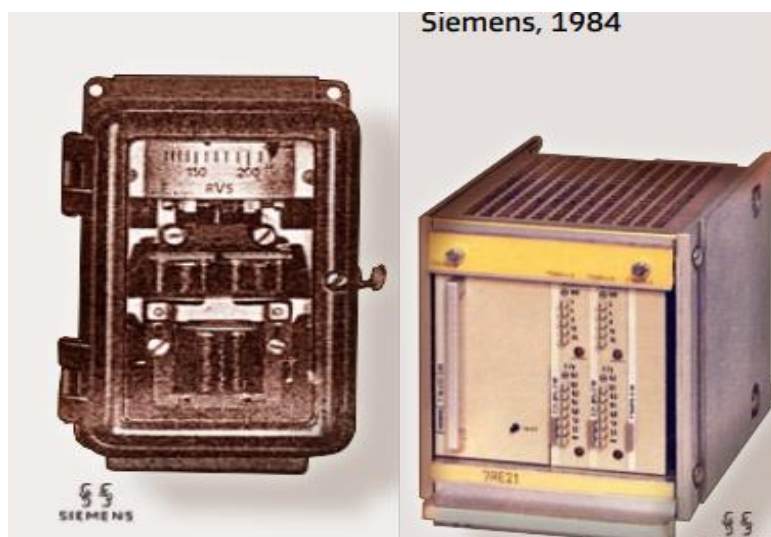
V souvislosti s ochranou proti zemnímu spojení statoru, byla v BBC v roce 1945 doporučena zjednodušená diferenciální ochrana pomocí jednopólového diferenciálního relé (obr. 10). V případě zkratu mezi fázemi byla tato ochrana poměrně rychlá, zatímco při poruše na dvou fázích reagovala jen v ojedinělých případech [4].



Obr. 10 Jednoduchá diferenciální ochrana BBC [11]

2.12. Ochrana před vysokým napětím

Zvýšení napětí bylo nebezpečné zejména u hydrogenerátorů, jelikož mohlo způsobit velký nárůst otáček, a tím zničit celý hydrogenerátor. V roce 1936 společnost Siemens vyrobila relé pro ochranu před vysokým napětím pro hydrogenerátory RV5 (obr. 11 vlevo), které pracovaly správně pro nárůst až do 200 % jmenovitého napětí. V roce 1984 společnost Siemens vyrobila statické relé se dvěma stupni 7RE21-Z1 (obr. 11 vpravo). Jakmile se zkratové proudy ve vysokonapěťových sítích zvětšily, způsobilo to problémy zejména v účinně uzemněných systémech, kvůli vysokým poruchovým proudům při poruše fáze–země. V případě otevření vypínače mezi jednotkou a uzemněnou sítí mohlo dojít k nebezpečnému přetížení [4].



Obr. 11 Relé proti zvýšení napětí (vlevo) a Statické relé se dvěma vstupy (vpravo) [4]

2.13. Zemní ochrana statoru

Další možností, jak omezit škody, byla zemní ochrana statoru. Velikost poruchového proudu závisela na typu uzemnění uzlu generátoru. Pokud je uzemněn, poruchové proudy jsou stejně velké jako zkratové proudy. V případě izolovaného uzlu generátoru se vyskytnou na uzlu pouze zemní poruchy nebo zbytkové proudy. Velikost poruchové veličiny také závisela na umístění závady ve vinutí. Jedna z prvních forem dohledu nad zemními poruchami v DC elektrárnách byla realizována pomocí žárovek (obr. 12) [5].



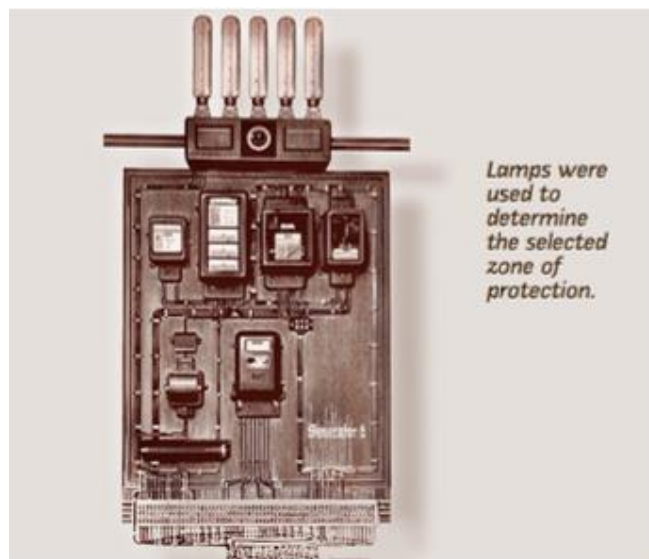
Obr. 12 Signalizace poruch [4]

Pokud bylo červené světlo vypnuté, nastala zemní porucha nebo přerušení spojení s kladným pólem. Pokud bylo modré světlo vypnuté, označovalo to reverzi proudu. Pokud byly obě lampy vypnuty, došlo ke zkratu nebo přerušení. Pokud došlo k poškození izolace vinutí, zapálil se oblouk, který byl uzemněn k zemi stroje. Nadproudová ochrana vybavila už v hodnotě dvojnásobku jmenovitého proudu stroje. Bohužel velmi často, kvůli silnému proudění vzduchu způsobeném strojem, zůstával oblouk zapálený po delší dobu a ochrana vybavila až po znehodnocení stroje [5].

E. Neumann ve svém patentu DRP 314415 v roce 1919 navrhl izolovat stroj proti zemi a realizovat uzemnění uzlu přes odpor, tlumivku nebo proudový transformátor. V případě selhání izolace v izolovaném stroji, tekoucí proud mezi vinutím a skříní, způsobil napětí na svorkách. Dokonce i malý problém v izolaci způsobil malý proud a vzniklo malé napětí, které byly použito pro indikaci nebo k vybavení ochrany. V případě dalšího zvýšení proudu byl generátor odbuzen [5].

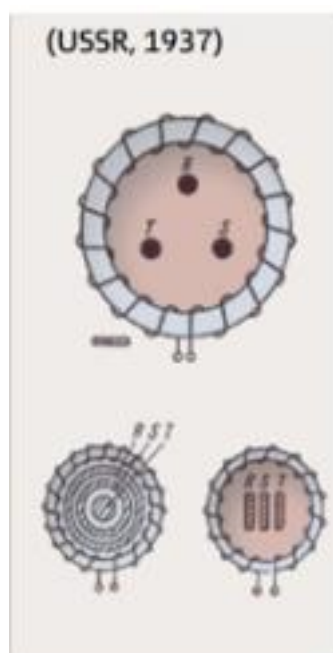
V Evropě a ve Spojených státech byly vyvinuty různé postupy k uzemnění uzlu střídavých sítí. Účinné uzemnění nebylo v Evropě velmi oblíbené kvůli velkým zemním proudům, protože i v případě rychlého vybavení zemní ochrany se satorové vinutí mohlo roztavit. Izolovaná síť nebo síť uzemněná přes odpor byla daleko lepší volbou. V roce 1929 dr. L. Piloty ve společnosti AEG popsal různé přístupy, týkající se uzemnění uzlu a navrhl doporučení pro odhad uzemňovacích odporů. Zmínil výhodu odporů závislých na napětí [5].

V roce 1924 navrhl W. Bülow zvýšit citlivost ochrany proti zemnímu spojení v uzlu generátoru pomocí odporů závislých na proudu a napětí. Obr. 13 znázorňuje desku ochrany generátoru s odporem vyvedeným nad ochranu. Ochrana generátoru, která byla vyvinuta v počátečních fázích, byla citlivá a stabilní, přesto se někdy vyskytlo nesprávné vybavení ochrany. [5].



Obr. 13 Deska ochrany generátoru s odporem v horní části [5]

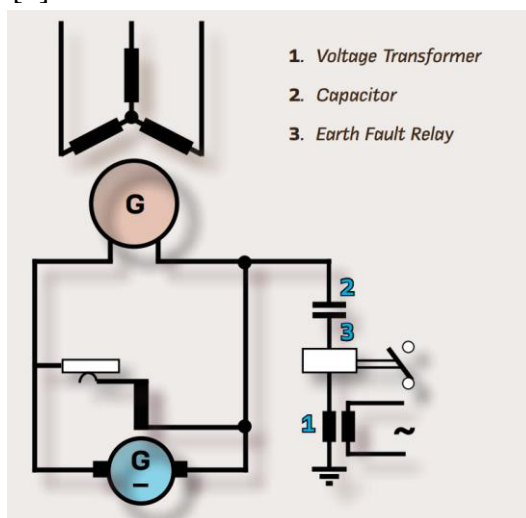
Společnost Siemens použila v roce 1950 vysoce citlivé směrové relé R1W3 (obr. 14) s časovým nastavením vybavení. Tato relé, byla napojena na proudové transformátory s převodem 60/1 A. Pomocný odpor byl připojen ke zvýšení citlivosti ochrany zemního spojení, během spouštění generátoru. V případě přetrvávající zemní poruchy a během přechodných dějů docházelo často k chybnému vybavení. Vyšetřování těchto falešných vybavení bylo velmi obtížné, protože chování relé během stacionárních podmínek bylo naprosto v pořádku. Pro získání lineárních závislostí byly vyvinuty speciální metody, jako napěťová stabilita [4].



Obr. 14 Směrové relé Siemens, 1950 [4]

2.14. Ochrana proti zemnímu spojení rotoru

Poruchy v rotoru, způsobené nízkým napětím, nevznikaly často a nebyly tak nebezpečné. Bylo však zřejmé, že v případě průrazu izolace dojde ke zkratu. Detekce mezizávitových poruch byla složitá. Při nízkém budícím napětí dochází k odbuzení stroje, ale odstředivé síly a tepelné účinky stále zatěžovaly vinutí rotoru. Vzhledem k tomu, že závady zemního spojení rotoru nebyly tak nebezpečné, byla vyžadována jen jednoduchá indikace poruchy. Jedna svorka stejnosměrného obvodu dodávající energii do baterií nebo dynama, byla uzemněna pomocí sériového spojení s měřícím zařízením a nadproudovým relé. Primární strana byla připojena ke stabilnímu střídavému proudu transformátorové stanice. V roce 1940 společnost AEG navrhla jednoduché schéma, které je zobrazeno na obr. 15 [5].



Obr. 15 Ochrana proti zemnímu spojení rotoru AEG (1940) [5]

V případě normálního provozu byl proud malý, ale při poruše začal narůstat a vedl k vybavení ochrany. Ochrana proti zemnímu spojení Siemens-Schuckert-Werke měří proudy proudovým transformátorem a pohyblivou cívkou s usměrňovačem. Rozsah nastavení byl mezi 10 a 50 mA, a když byl odpor menší než 1000 Ω spustila se signalizace. Pomocné střídavé napětí bylo 30 až 50 V a bylo propojeno s děličem napětí na stejnosměrný generátor. Pomocné napětí muselo být omezeno, aby nevznikalo nebezpečí pro personál. Největší nebezpečí vznikalo při kontrole kartáčů. Sekundární strana transformátoru byla uzemněna napěťovou cívkou. DC okruh, který měl být kontrolován, byl spojen s odporem R (200 Ω) a kapacitou C (20 μF) na transformátoru. Napětí mezi transformátorem a zemí bylo 40 V. Pevná cívka byla spojena s kapacitou 4 μF a odporem paralelně se sekundárním vinutím transformátoru. Proud byl konstantní, pokud bylo primární napětí transformátoru také konstantní [5].

Po roce 1950 se přestaly generátory budit rotujícím ustrojím, ale začalo se používat statické buzení. Pro statické buzení ovšem ochrana nebyla dostatečně citlivá. Proto bylo nutné tento koncept vylepšit nebo navrhnout nový [5].

3. ELEKTRONICKÉ OCHRANY

V této kapitole je zhotovena rešerše a je zde probrána problematika elektronických ochrany. V první části jsou probrány obecně ochrany a popis jejich vzniku. Dále jsou zde rozebrány problémy, s kterými se ochrany na začátku své existence potýkaly.

V kapitole, už není brán zřetel na chronologický postup vývoje, protože každá firma, v této době dělala různé ochrany nezávisle na sobě. Je zde popisováno, jak se firmy stavěly k problematice různých ochrany a jak řešily problémy.

Dále jsou zde popisovány vynálezy a nové ochranné prvky, které vznikaly. Tato část je doplněna o obrázky nejdůležitějších ochrany pro představu.

3.1. Začátky elektronických ochrany

Od 60. let 20. století nastala doba elektronických relé. Elektronická relé se ve velkém začala používat kvůli jejich menšímu zatížení kontaktu, menším elektromechanickým silám, rozměrům, rozsahům nastavení a novým metodám. Elektronická relé neměla pohyblivé mechanické části, což snižovalo potřebu údržby, jako například u ložisek, které by bez údržby vysychaly [6].

Tím pádem, byly elektromechanické ochranné prvky a charakteristiky elektromechanických relé nahrazovány jejich elektronickými ekvivalenty. Za první elektronickou ochranu se dá považovat ochrana, která byla vyvinuta v roce 1934 firmou Wideroe. Byla to ochrana, kterou z hlavní části tvořily tyratronové trubice naplněné plynem. Tyratron je plynová výbojová komora, která obsahuje katodové vlákno, anodovou desku a jednu nebo více mřížek. Inertní plyn nebo pára kovu vyplňuje prostor. S příchodem polovodičových prvků se od tyratronu opustilo. V roce 1949 mnoho konstruktérů a vynálezců prohlásilo, že elektronické ochrany jsou pro mnoho běžných ochranných funkcí daleko lepší a bezpečnější [7].

Plně elektronická zařízení byla uvedena poprvé v roce 1960. První relé měla potíže s elektromagnetickou kompatibilitou. Další velký problém nastal s odbornými pracovníky, kterých bylo v této oblasti velmi málo a potýkali se s nedostatkem náhradních dílů. Od 70. let minulého století byla dostupná selektivní ochrana, jak pro elektromechanické, tak statickým provedení [7].

Měřicí systémy v této době byly elektromechanické. Byly tvořeny z pohyblivých cívek elektromagnetických a bimetalových prvků. V západních zemích bylo měření prováděno Ferrarisovými postupy. Pasivní prvky byly přizpůsobeny měřicím systémům a různým úkolům. Ochranná relé mohla monitorovat proud, napětí, frekvenci nebo jiné veličiny za

účelem vybavení vypínače v případě abnormálního stavu. Termín "spoušť" byl převzat z palných zbraní. Elektronické spouštěče neměly problémy s kontakty nebo erozí a mohly být napájeny nízkým napětím [7].

Výhody elektronických relé byly zřejmé. Nejdůležitějšími výhodami bylo zapojení analogových PC a kalkulaček, realizace ochranných funkcí pro kombinaci různých výpočtových prvků, možnost potlačení syčení jádra, snadné nastavení vektorových skupin a poměrů transformátorů i vysoká citlivost, která napomáhala eliminovat poruchy [7].

Různé vypínací signály měřících prvků byly kombinovány ve vypínací matici. "Programování" této matice se realizovalo za pomoci diod a tranzistorů. Většina zařízení této generace, jako jsou moderní polovodiče, nové operační zesilovače, řídicí jednotky a první integrované obvody, byly vyrobeny v 70. letech 20. století. Schémata měření byla přizpůsobena nové elektronice a novým technologiím. Z funkčního hlediska splňovaly nové přístroje všechny požadavky jako byly např. snížení spotřeby na hodnotu menší než 1 VA, možnost realizace pokročilých nastavení a ukládání hodnot napětí, pro následné využití při odhadu směru proudu [7].

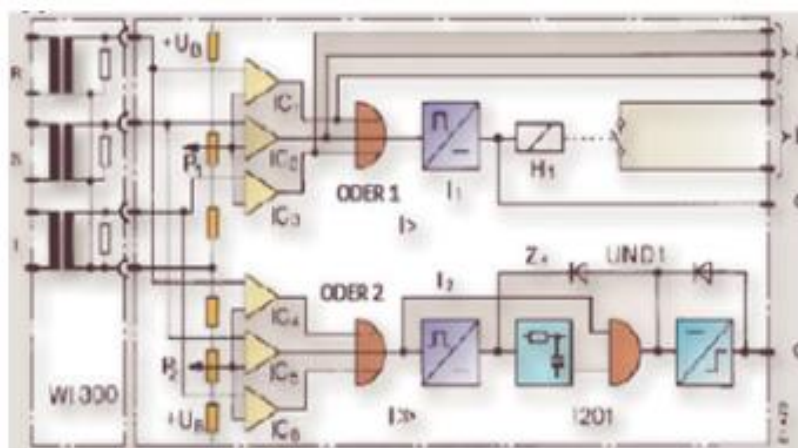
Bylo zřejmé, že dodavatelé budou chtít co nejdříve přejít z elektromechanických relé na elektronické. Bohužel to nebylo možné, jelikož návrh, realizace a správa systému byla složitá. Elektronická relé byla dodána s tištěnými kartami ve formátu Eurocard (pro desky plošných spojů). Tyto systémy byly dobré pro montáž do skříní, ovšem nezapadaly do starých a úchyty na stěnu. Použití centrálních skříní nebylo v té chvíli možné. Největší problém byl poměrně omezený počet pracovníků vzdělaných na nové technologie. Další problém nastal, když se zjistilo, že první přístroje tohoto typu byly citlivé na statické výboje. Naštěstí se tyto problémy rychle vyřešily [7].

3.2. Elektromagnetické rušení

V případě poruch v síti, ale i při kontrolních operacích v rozvodnách, docházelo k rušení. Vyskytovaly se zde přechodné jevy, signály s provozní frekvencí i signály vysokofrekvenční. Tyto chyby začaly ovlivňovat ochrany až po zavedení elektroniky do rozváděčů. Dalším problémem byly napěťové špičky, které neměly žádný vliv na elektromechanické relé, ovšem na elektroniku bohužel ano. Proto se začalo pracovat na stínění, uzemnění a na filtrech, které se musely začít využívat [7].

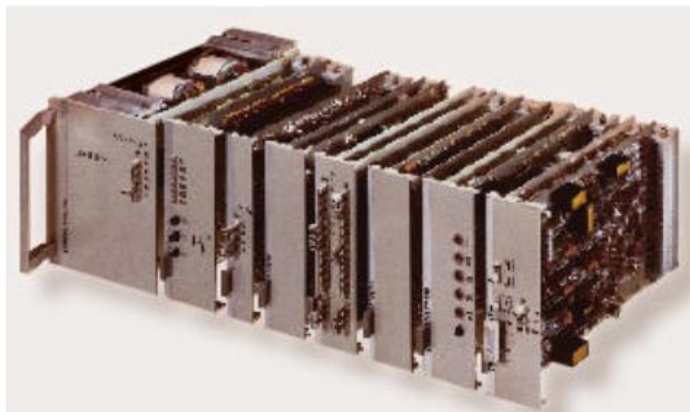
3.3. Statické ochranné relé

Již v roce 1959 společnost TOSHIBA zahájila program rozvoje statické ochrany. Poté vytvořila statickou ochranu přípojnic a nadproudovou ochranu. Nadproudové relé BBX IHX103 bylo vyvinuto pro železniční systémy a dosahovalo doby vybavení, už za 0,6 ms. Dalšími příklady statické ochrany bylo zařízení SIEMENS 7SL24. Tato relé byla představena v roce 1971 (obr. 17) a byla použita v rozvodné síti ENEL 110 kV v rozvodné stanici Palermo. Obr. 16 ukazuje zařízení a schéma nadproudového relé SMK381 firmy AEG.



Obr. 16 Nadproudové relé SMK381 [7]

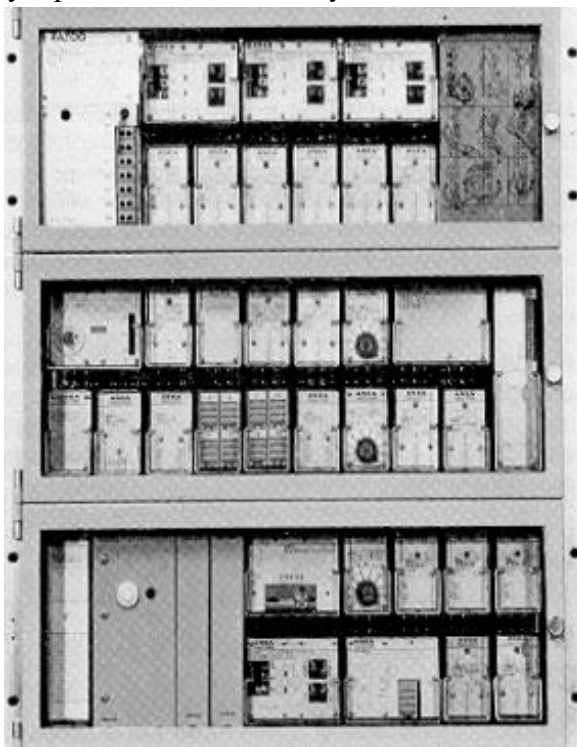
SMK381 mělo napětí úměrné proudům, a to bylo připojeno k operačním zesilovačům IC1 až IC3. Vstupy byly invertovány a připojeny k potenciometru P1, který definoval spouštěcí hodnotu pro všechny tři fáze. Pokud bylo napětí vyšší, zapnul se operační zesilovač, přičemž kladná poloviční vlna na výstupu vyprodukovala puls o různé délce. Časový prvek se skládal z generátoru impulsů připojeného ke kapacitě C1, flip flopu K2 / K3 a invertoru IV s pamětí Z2. Signál + se zesiluje izolačním zesilovačem V1 – to umožňuje stabilní výstupní čas. Odolnost proti zatížení lze nastavit pomocí konektoru S, S1 nebo S2 ($S3 = \infty$) [7].



Obr. 17 Ochrana Siemens použita na první lince v Palermu [7]

Generátor impulsů dodával impulsy se dvěma definovanými kmitočty v závislosti na zvoleném odporu R1 nebo R2. Impulzy byly uloženy v čítači Z2. Potenciometr P3 definuje číslo (\cong zpoždění) a vypne pomocné relé K2 / H.

Skutečnou revolucí bylo relé RAZOG ASEA s polygonální charakteristikou (obr. 18). Bylo možné opustit charakteristiku kruhu a přejít na charakteristiku v souřadnicovém systému R / X. Měřicí systém se skládal z kompenzačního obvodu, nastavovacího prvku a porovnání fází. Stupeň 1 se skládal z nastavení a možnosti jemného ladění (1–2 %). Stupně 2 a 3 jsou definovány jako násobek 1. stupně. Srovnání fází fungovalo bez jakýchkoli kontaktů a bylo namontováno na čtyřbitové kartě. Celý systém byl připojitelný a poskládan z nového systému COMBIFLEX v 19 stojanech [7].



Obr. 18 Relé RAZOG ASEA s polygonálními vlastnostmi [7]

Firma VEIKI z Maďarska začala v roce 1971 vyrábět statickou tepelnou ochranu motoru EMV3t. V tom samém roce po sestrojení frekvenčního relé EFR1 přišla distanční relé ETV. V roce 1978 byla uvedena do provozu jednofázová relé s jednou fází AEG Telefunken. Pro SD35 byly použity dva různé typy konstrukcí, a to modulární systém 19ti-palcových stojanů nebo klasická konstrukce s jediným zařízením. Modulární systém mohl být realizován velmi kompaktně, zejména v případě složitých ochranných systémů. Když byly přístroje v modulárním systému, tak kabeláž byla velice krátká a stíněná, což byla velká výhoda. Od této chvíle se přístroje daly vyrábět mnohem menší a s daleko jednodušším nastavením a uvedením do provozu. [7].

Další série BBC byla nazvána MODURES® – modulární systém. Obr. 19 ukazuje rozváděč vysokého napětí v Mannheimu (Německo). Relé velmi vysokého napětí LZ96 bylo vyvinuto v roce 1980 a jeho spouštěcí charakteristika mohla být přizpůsobena zatížení. Elektronická relé byla stále více využívána a již na konci 60. let byla použita k ochraně obrovských turbogenerátorů o výkonu až 300 MW [7].



Obr. 19 Rozváděč vysokého napětí v Mannheimu [7]

4. DIGITÁLNÍ OCHRANY

V této kapitole je provedena poslední rešeršní část na digitální ochrany. V první části této kapitoly je popsán vznik a rozvoj těchto ochran. Dále je tohle období rozdělené podle vývoje do tří fází.

V každé fázi je vždy uvedena specifikace pro dané období a popsány nové výzkumy a vynálezy. Dále je v každé fázi uveden příklad ochrany, který jí specifikuje. Po tomto rozdělení jsou v této kapitole popsány první digitální ochrany a jejich využití.

4.1. Rozvoj digitální ochrany

Výpočtová technika pomalu vytlačila mnoho tradičních přístrojů a zařízení, které se v elektroenergetice používaly. Hlavním důvodem použití mikropočítačů byla jejich spolehlivost v běžných činnostech ochran, ale také usnadnění ovládání nastavení, synchronizace více ochran a ukládání dat. Velmi důležitou funkcí je autokontrola. Tato funkce digitální ochrany, umožňuje prodloužit interval kontrol a revizí až o několik let. Postupně se s vývojem výpočetní techniky začaly zdokonalovat i digitální ochrany, a to ve svém programovém vybavení, ale i konstrukci. Výpočetní technika se začala víc a víc využívat, a to vedlo k stále nižší ceně ochran. Digitální ochrany umožňují plnit i další úlohy, čímž přispívají k monitorování, ovládání a řízení prvků v reálném čase [3].

V elektrárnách byly výpočtové jednotky a počítače používány již od 60. let 20. století k ovládání přístrojů. V několika elektrárnách byly počítače používány pro získávání dat, dohled, protokolování událostí, spouštění, vypínání a pro optimalizaci výkonu. Zejména v jaderných elektrárnách byla kontrola reaktorů velmi drahá a velice složitá, ale kvůli bezpečnosti bylo nutné nejmodernější vybavení. U přenosových vedení se používání digitálních prvků nevyvíjelo tak rychle, jako tomu bylo v elektrárnách. Za běžných podmínek neexistovala žádná skutečná potřeba kontroly, a proto nevznikala potřeba na použití drahých digitálních přístrojů. Bohužel, zde byly stále přechodné jevy a havárie, které vyžadovaly rychlou odezvu a reakci, a proto se digitální ochrany později dostaly i na přenosové soustavy. V počátcích se řada výzkumných prací a vývoj prototypů prováděla převážně jen ve vědeckých, průmyslových nebo specializovaných výzkumných ústavech. V roce 1967 I. F. Morrison z University of New South Wales v Austrálii zkoumal využití počítačů pro "on-line příkazy" v rozvodnách. První sériová výroba mikroprocesorů byla představena společností Intel (USA) v roce 1971. Čtyřbitový procesor obsahoval 2300 tranzistorů a 256 byte ROM s 32bitovou pamětí RAM [9].

4.2. První fáze (1966–1974)

První fází digitálních ochranných zařízení, byla studie, která zkoumala přetížení, zkrat a stabilitu digitálních zařízení. Studií bylo dokázáno, že ochranné budou schopny vybavení provádět rychleji a přesněji. Další poznatek byl, že ochranné byly schopné výsledky zpracovat mnohem podrobněji, oproti starším ochrannám. Takové informace značně pomáhaly odborníkům při výběru, aplikaci a nastavení systémů ochranných. Nejprve byly publikovány první články popisující způsob, jak realizovat ochranu za pomoci počítačů. Tyto postupy byly publikovány již koncem 60. let. [9].

Pokračující rychlý pokrok v oblasti digitální výpočetní techniky vedl k přehodnocení ochranných zařízení a systému. B. J. Mann a I. F. Morrison prokázali funkčnost digitálních počítačových aplikací na ochranu přenosové linky v laboratorním prostředí. Digitální počítač byl použit pro ochranu linky Tesla-Ballot 230 kV [9].

První diferenciální ochrana generátoru, pomocí hybridního systému, byla popsána a publikována v roce 1972. Tato ochrana byla hybridní, tzn. analogově-digitální technika upravená pro diferenciální ochranu, která se používala pro chránění satorů generátoru. V Saskatchewanu v Kanadě byla provedena demonstrace digitálních počítačových technik v reálném čase pro ochranu zařízení. Byl zde také vyvinut a vyzkoušen základ pro digitální ochranu s uloženým programem k provádění mnoha funkcí v rozvodně. Logické operace se prováděly tak, aby detekovaly poruchu, lokalizovaly ji a zahájily vybavení příslušných ochranných. Dokázaly detekovat a správně vyhodnotit poruchu v rozvodně nebo na vedení směřující z rozvodny. Okamžité hodnoty napětí a proudů rozvodny byly vzorkovány s časem 0,5 ms. Následně byly přepočteny do digitální formy a uloženy pro použití hlavním počítačem. Rychlost digitální ochranné pro vybavení byla maximálně 4 ms při závažných poruchách. Při středních nebo vzdálených poruchách pak došlo k vybavení za méně než 10 ms. [9].

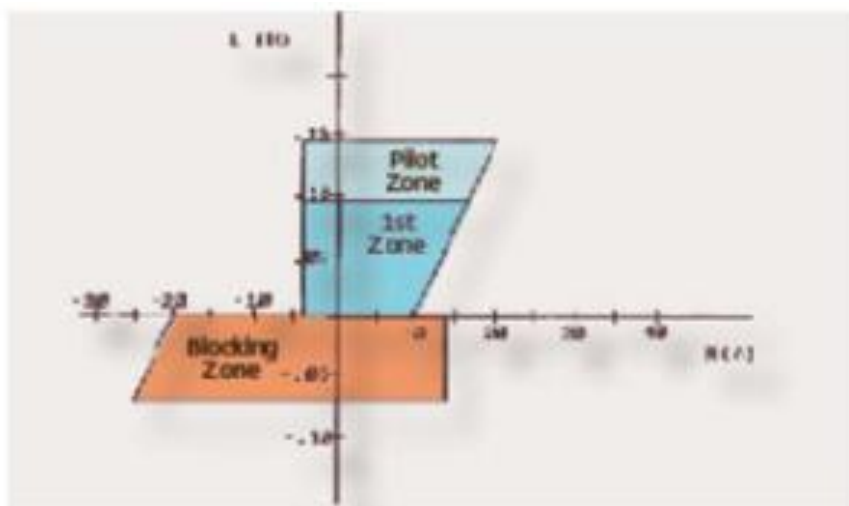
Rockefellerova "sdělovací síť" byla patentována v roce 1971 a popisovala síť složenou z více zařízení. Tato síť byla vhodná pro ochranu vedení a přenosové linky. Na vedení byla natažená linka, která se přepínala u zařízení, které si vyměňovaly informace. Na první a druhé stanici jsou provozní informace o úseku vedení, které si navzájem vyměňují. Experimenty v terénu byly popsány v dokumentech od G. D. Rockefellera roce 1972. Vzhledem k ceně počítačů v té době, byla G. D. Rockefellerem navržena sestava jediná svého druhu. Poté se začalo pracovat na levnějších verzích, které měla stejný princip, ale jednotlivé úkony se rozdělily mezi levnější samostatné jednotky. Náklady na digitální ochranné byly tehdy příliš vysoké, a také proto se na digitální ochranné přecházelo velmi pomalu [9].

4.3. Druhá fáze (1972–1981)

Cílem bylo získat levné řešení pro určité typy ochran, a proto se ochrany rozdělávaly na části a byly provozovány na menších počítačích. Typické pro tuto fázi bylo použití malých počítačů na ochranu krátkých linek pomocí diferenciální ochrany, ale i na ochrany transformátorů a generátorů. Postupem času byla potřeba složitějších výpočtů, a to si žádalo lepší a složitější návrhy algoritmů. Typickými příklady jsou dokumenty B. J. Manna a I. F. Morrisona ("Digitální výpočet impedance pro ochranu přenosové linky"), G. S. Hoppea ("Vzorkování pro ochranu přenosových vedení") [9].

Několik vynálezů bylo zaznamenáno i z Japonska. Konstrukteři Miki, Sano a Makino představili svou studii o vysokorychlostním distančním relé za pomoci mikropočítače. Svůj výzkum s mikroprocesorovými digitálními aplikacemi předložili v roce 1981 společností TEPCO a TOSHIBA. TEPCO ovšem odmítlo, protože měli svůj návrh [9].

M. M. Chen, W. D. Breingan a T. F. Gallen představili v roce 1979 zkušební digitální systém pro ochranu přenosových vedení. V rámci společného výzkumného projektu byla instalována experimentální přenosová linka, která využívala digitální techniku. Tato linka byla instalována v nezáleďněné oblasti na pole a byla využívána po dobu jednoho roku. Linka byla dlouhá 116 km a napětí bylo 500 kV. Tímto testem se prokázaly výhody jako snížení počtu prvků v systému, zvýšení spolehlivosti, sebekontrola a možnosti kombinovat několik úkolů ochran v jediném zařízení. Tím vznikla revoluce v oblasti ochran. Obr. 20 ukazuje polygonální charakteristiku distanční ochrany z této doby [9].



Obr. 20 Polygonální char. ochrany z roku 1979 [9]

4.4. Třetí fáze (pozdní 70. léta a počátek 80. let)

Díky mikroprocesorům a dalším integrovaným obvodům byly k dispozici nové možnosti, které nastartovaly novou generaci digitálních ochran. Hlavní vlastností bylo využití mikroprocesorů, mikropočítačů a systémů s novými algoritmy, které měly možnost ukládat data o velké šířce pásma. Po rozsáhlých laboratorních testech a dvouletém zkušebním období, byla digitální ochrana konečně uvedena do provozu. 28. dubna 1977 byla jako jediná a hlavní ochrana naistalována do rozvodné stanice v Bad Kissingen. Podrobná zpráva byla předložena na konferenci CIRED v roce 1979. V Německu byli velmi spokojeni s novým digitálním systémem. Zkušenosti a data získaná během zkušebního provozu pomohly společnosti Überlandwerke Unterfranken AG, aby začala s montáží ochran ve větším měřítku. Od roku 1982 až 1987 bylo uvedeno do provozu dalších 10 instalací. Dále zde byly poprvé integrovány funkce pro řízení rozvodny, jako například spínání vypínačů. Po této fázi už nic nebránilo k rozšíření digitálních ochran do celého světa [9].

4.5. První digitální ochrany

Společnost AEG vyrobila digitální frekvenční relé SFT10-30, které bylo představeno v roce 1981. Výpočet byl proveden na osmibitových mikroprocesorech. Doba cyklu procesoru byla $2,5 \mu\text{s}$, což odpovídá frekvenci 400 kHz. Aby ochrana vybavila musel být přechodový jev nejméně po čtyři periody. Tudíž při provozní frekvenci 50 Hz byla minimální potřebná doba 80 ms [10].

Digitální ochrana PD551 byla představena v roce 1990. Byla to digitální ochrana pro ochranu vedení. Poté přišlo na řadu nadproudové relé PM481, PS451 a diferenciální ochrana PQ721. Ochrana PD551 byla vyvinuta speciálně pro velmi vysoké napětí a její aplikace. Poté byla vyrobena velmi oblíbená ochrana PD531 pro využití u přenosu vysokého napětí (obr. 21 vpravo) [10].



*Obr. 21 První plně numerický multifunkční terminál pro ochranu vzdálenosti RELZ100 (vlevo)
Digitální ochrana PD 531 (vpravo) [10]*

Společnost Basler Electric představila na začátku roku 1983 řadu mikroprocesorových ochranných relé založených na mikroprocesorovém systému BE1-51. Ochranné relé BE1-51 bylo jedním z prvních komerčně dostupných mikroprocesorových relé v průmyslu. Byly provozovány dvě varianty ochranného relé BE1-51 a to, nadproudového relé BE1-51 / 27C s řízením napětí a nadproudového relé BE1-51 / 27R s omezením napětí. Všechny modely byly k dispozici v jednofázových a třífázových provedeních. BE1-51 byla v době uvedení do provozu inovativní, jelikož nebylo běžné, aby ochrany měřily a vyhodnocovaly všechny fáze zvlášť. Vzhledem k omezeným matematickým schopnostem jednočipových mikroprocesorů byl vyvinut jedinečný algoritmus log-base-2, který umožňoval výpočty s vysokou rychlostí bez využití funkcí přímého násobení nebo dělení [11].

Basler BE1-BPR byla ochrana proti přepětí a byla zavedena v roce 1994. Obsahovala výkonné prostředky pro programování interní reléové logiky pro uspokojení široké škály požadavků uživatelů, aniž by došlo k nějakým změnám hardwaru. Návrh na bázi mikroprocesoru poskytoval základní funkce programovatelného logického řadiče (PLC) v kombinaci s modulem okamžitého nadproudu. Vestavěné diagnostické a monitorovací funkce poskytovaly informace z ochrany o stavu vypínače. Diagnostika vypínačů zahrnovala i diagnostický protokol s časem. Mezi další funkce monitorování patřily oscilografické záznamy o poruchách a záznamy o chybách. Obr. 22 znázorňuje zařízení společnosti Basler.

V roce 1986 byl představen první plně numerický multifunkční terminál pro ochranu dlouhých linek RELZ100 (obr. 21 vlevo), jehož první zapojení bylo provedeno v roce 1990. V řadě modulů byla prezentována ochrana číselné linky 316LZ (později RL316) a ochrana transformátoru RET316 [10].



Obr. 22 Ochrana proti přepětí Basler [10]

5. ÚVOD PRO MĚŘENÍ NADPROUDOVÝCH OCHRAN

Následující kapitoly jsou zaměřeny na měření a zhodnocení starších ochran a na měření digitální ochrany pro srovnání. Tato kapitola je zaměřena na úvod do měření a seznámení s nadproudovými ochranami. Dále jsou zde popsány nadproudové ochrany a jejich charakteristiky.

5.1. Obecný popis nadproudové ochrany

Nadproudová ochrana je typ ochrany řadicí se mezi základní. Ochrana pracuje na principu porovnávání, naměřeného proudu s nastavenou hodnotou proudu. Nadproudová ochrana obvykle měří velikost fázových proudů nebo zemního proudu. Ochrana umí vypínat jak při zkratovém proudu, tak i při přetížení. U těchto ochran je požadováno, aby reagovaly odlišně na různé typy nadproudů. Což například znamená, že je požadováno, aby ochrana vybavila při zkratovém proudu okamžitě, a naopak při přetížení s časovou prodlevou. Nadproudové ochrany se dělí dle charakteristiky na časově závislé a časově nezávislé. Výsledná charakteristika může být i kombinací dvou charakteristik. Kombinací může vzniknout např. polozavislá charakteristika. [12]

Základní podmínka pro nastavení nadproudové zkratové ochrany je:

$$I_{kMIN}'' > I_p > I_{Zmax}$$

kde I_p je hodnota pro nastavení nadproudového článku

I_{kMIN}'' je minimální hodnota zkratového proudu

I_{Zmax} je maximální okamžitá hodnota proudu zátěže

Základní podmínka pro nastavení ochrany při přetížení je:

$$I_p > I_{Zmax}$$

kde I_p je hodnota pro nastavení nadproudového článku

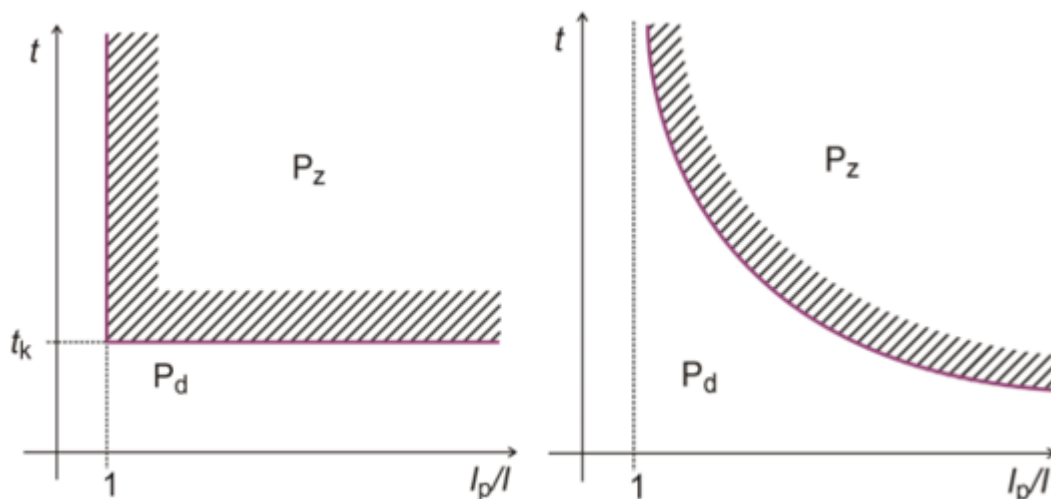
I_{Zmax} je maximální okamžitá hodnota proudu zátěže

Doporučená minimální hodnota proudu I_n pro správné vybavení ochrany je pro přetížení $1,2 \cdot I_n$. [13]

Od nadproudových ochran se očekává, že přetížení bude vybaveno s časovou prodlevou, neboť může být způsobeno rozběhem větších strojů. Naopak zkrat se musí vypnout okamžitě, aby svými destruktivními účinky nezničil chráněné zařízení nebo vedení [14].

5.1.1 Časově závislá charakteristika

Tato charakteristika umožňuje vypínat proud, který překročí nastavenou hranici proudu. Čím bude proud vyšší, tím rychleji ochrana vybaví. U této charakteristiky se pracuje s poměrem proudu I_p/I . Tento typ charakteristiky je používán pro aplikace, kde hrozí přetížení. Charakteristiku takové ochrany lze vidět obr.23 vpravo [14].



Obr. 23 Časově nezávislá charakteristika (vlevo) Časově závislá charakteristika (vpravo)[13]

5.1.2 Časově nezávislá charakteristika

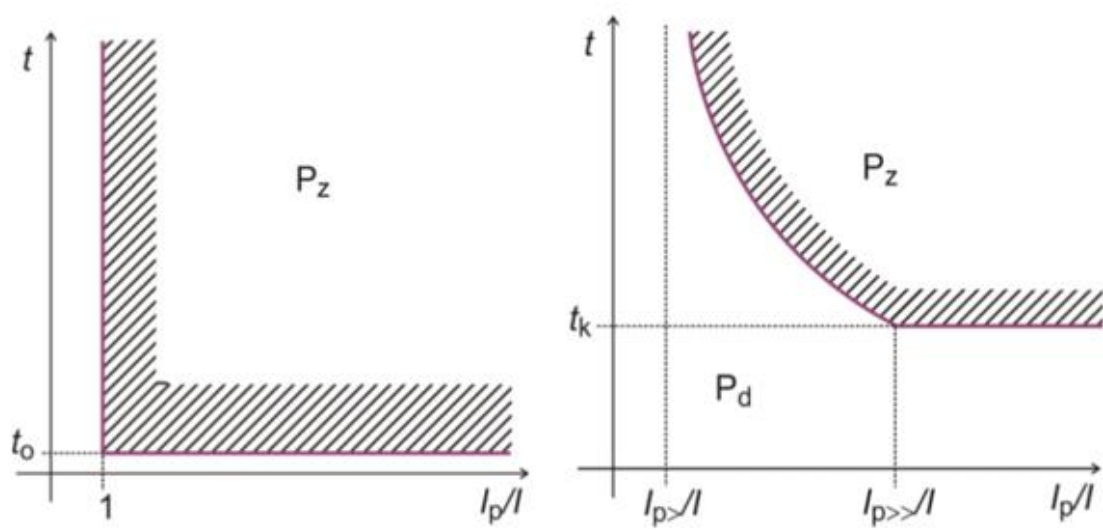
Při nastavení této charakteristiky dochází k vybavení při překročení nastavené hodnoty proudu, a to nezávisle na velikosti proudu. Ochrana vždy vybavuje za nastavený čas t_k . Tento typ ochrany se používá pro vypínání zkratů. Tuto charakteristiku lze vidět na obr.23 vlevo [14].

5.1.3 Mžiková charakteristika

Ochrana s touto charakteristikou se řadí mezi časově nezávislé. Při nastavení této charakteristiky dochází k vybavení při překročení nastavené hodnoty proudu s rozdílem, že tato charakteristika vypíná zkratový proud okamžitě nebo v co nejkratším čase t_0 . Rychlost vybavení ochrany ovlivňuje jen hardwarové vybavení ochrany. Obvykle ochrana vybaví do 10 ms. Charakteristika je zobrazena na obr.24 (vlevo) [14].

5.1.4 Polozávislá charakteristika

Tato charakteristika vzniká kombinací časově závislé charakteristiky a charakteristiky časově nezávislé. Ochrana tudíž využívá obou předností charakteristik. K vypnutí proudu dochází s časovou závislostí jen do určité hodnoty proudu. Po dosažení této hodnoty, už nezáleží na velikosti proudu a ochrana buď vybavuje s nastaveným zpožděním nebo okamžitě. Tato charakteristika je zobrazena na obr. 24 (vpravo) [14].



Obr. 24 Mžiková charakteristika (vlevo) a charakteristika časově polozávislé (vpravo) [13]

6. MĚŘENÍ ZÁVISLÉ NADPROUDOVÉ OCHRANY AT31

Tato kapitola se zabývá samostatným měřením nadproudové ochrany AT31. V první části je obecný popis ochrany. V navazujících částech je ochrana probírána postupně po všech jejích prvcích.

V další části je popsáno samotné měření. První je popsán postup přípravy měření ochrany a seznámení s ochranou. Poté je popsáno nastavení měřících přístrojů a schéma zapojení ochrany s měřícím zařízením.

V poslední části je popsán samotný průběh měření, které probíhalo na ochraně AT31 s měřícím zařízením Omicron 353.

6.1. Popis ochrany AT31

Ochrana AT31 je nadproudová ochrana, která se používala dříve jako ochrana proti přetížení a zkratovým proudům. Vhodná byla především tam, kde byly nároky na nízkou spotřebu v proudovém obvodu a vysoký přídržný poměr. Ochrana je osazena přesným časovým článkem, který dokáže reagovat na nastavený čas, a tím správně fungovat v selektivním jištění. Tyto ochrany typu AT byly vyráběny jako jednofázové s kódovým označením AT12, jako dvoufázové s označením AT21 a jako třífázové s označením AT31 [15].

6.1.1 Provedení

Ochrana je rozdělena na kryt a na vnitřní zařízení. Kryt je tvořen základní deskou z umělé hmoty, která tvoří záda ochrany. Boky ochrany jsou z lisovaného ocelového plechu a víko částečně ze skla a umělé hmoty. Konstrukce celé ochrany umožňovala montáž i s příívodem přímo ze zdi, přes zadní plastový kryt ochrany. Jediným ovládacím prvkem vyvedeným mimo samotný přístroj je tlačítko pro ovládní vybavovacích padáčků, jak pro koncové relé, tak i pro každou fázi zvlášť. Příívodní svorkovnice je dimenzována na vodič o průměru 6 mm² a kombinací dvou vodičů o průměru 2,5 mm². Rozměry vodičů materiál neovlivňuje [15].

6.1.2 Nadproudové měřící články

Tyto články se skládají z přesných elektromagnetických relé, která jsou konstruována otočnou kotvou, která v důsledku průchodu proudu, se začne stahovat. Při stažení tato kotva funguje jako pružina a při určité síle udeří do kontaktu, tím dá pokyn k zahájení odečtu času [15].

6.1.3 Časový článek

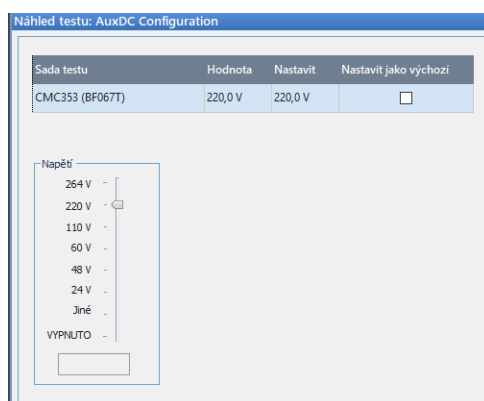
Tento článek pracuje na elektronickém principu a potřebuje vlastní zdroj napájení. Při sepnutí nadproudového článu započne odpočet nastavené hodnoty. Tento článek má ještě jeden kontakt, který se nazývá okamžitý. Tento kontakt se sepne buď propojením na vstupní svorkovnici nebo při nastavení časového článu na minimum. V druhém případě by mělo docházet k většímu zpoždění, z důvodu zpoždění časového článu [15].

6.1.4 Koncové relé

Koncové relé je pomocné stejnosměrné relé, které slouží k signalizaci a vybavení celé ochrany. Je realizováno za pomoci relé s příklopnou kotvou. Toto relé, stejně jako časový člen, potřebuje zvlášť napájení 220 V stejnosměrných [15].

6.2. Měření na nadproudové ochraně nezávislé AT31X

Pro samotné měření musela být provedena realizace schéma zapojení daného měření. Bylo zjištěno, že ochrana potřebuje pro svůj provoz napětí stejnosměrných 220 V. Bohužel takový zdroj nebyl k zapůjčení, tak vznikla alternativa, že se bude brát napětí přímo ze stejnosměrného zdroje v Omicronu. Tento výstup se nastavoval v „AuxDC Configuration“. Zde bylo potřeba nastavit hodnotu výstupního napětí a spustit napájení ochrany. Toto nastavení je zobrazeno na obr. 25.



Obr. 25 Nastavení napájecího napětí z DC výstupu Omicronu

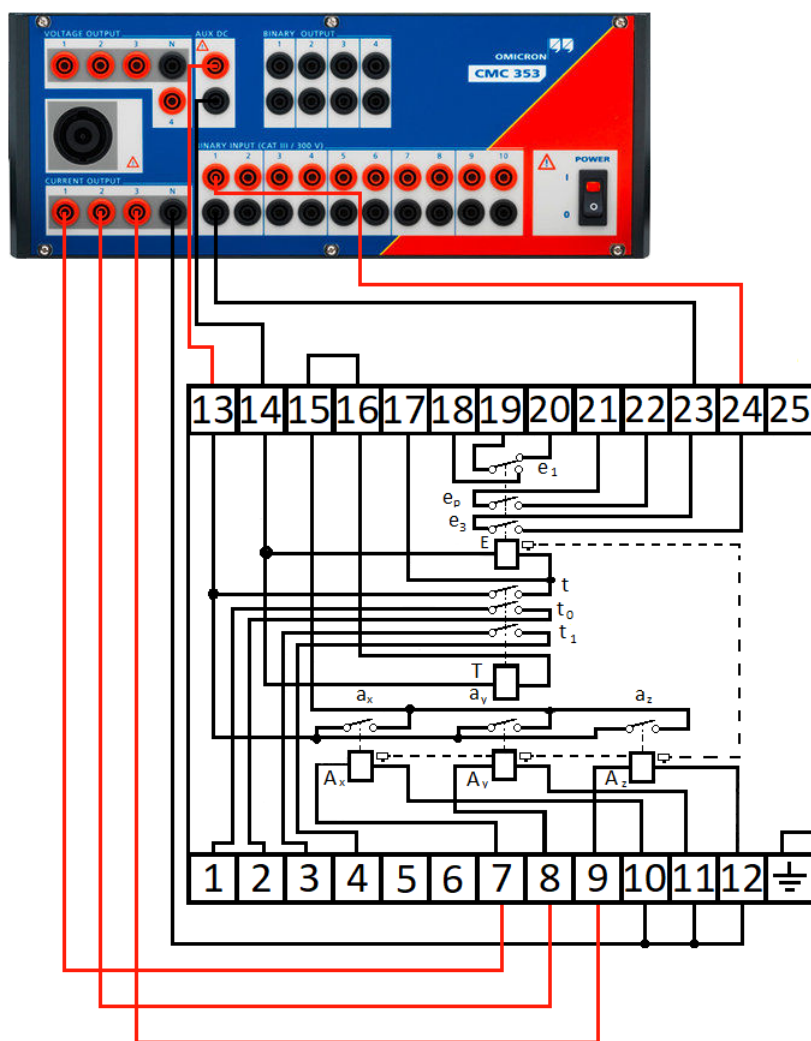
Na ochraně bylo prováděno měření její zkratové spouště a časového členu. První prováděné měření bylo bez časového členu, s pomocí propojení výstupu nadproudových článků přímo na vstup koncového relé. Tímto propojením bylo dosaženo nastavení okamžité spouště. Dle technické dokumentace by při tomto nastavení měla ochrana vybavovat za cca 7 ms. Ochrana při tomto měření ovšem vždy vybavila kolem 25 ms. Při následném měření všech částí ochrany a jejich zpoždění bylo zjištěno, že jen samotný okruh koncového relé má zpoždění 7 ms. Časové zpoždění na nadproudových měřících člancích bylo 12 ms. Tímto byla ověřena správnost měření.

Tabulka: 1 Měřené hodnoty pro ověření zpoždění na všech částech ochrany

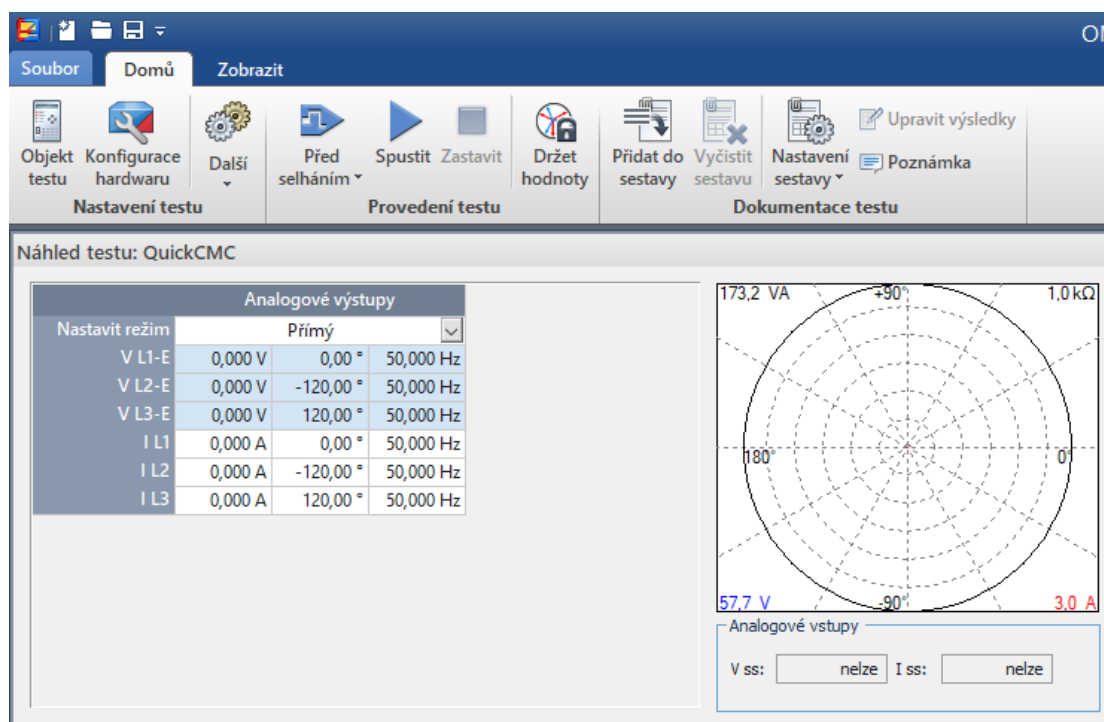
Měřené prvky	Naměřená doba t_m [ms]
Nadproudový článek	12 - 14 ms
Časový článek	10 - 14 ms
Koncové relé	6 - 8 ms

6.3. Průběh měření na ochraně AT31

Nejdříve bylo potřeba připojit počítač k Omicronu a udělat konfiguraci. Ochrana byla zapojena dle schématu, které je na obr. 26. Poté, co byla ochrana zapojena, byla nastavena hodnota napájení ochrany na stejnosměrných 220 V, jak lze vidět na obr. 25. Následně byl spuštěn program „OMICRON Test Universe“. Po spuštění se otevřelo okno, které nejprve přiřadilo jednotku OMICRON a následně se objevilo okno na výběr, jak s touto jednotkou pracovat. Byl zvolen testovací modul „QuickCMC“. Po spuštění se zobrazilo okno, které je na obr. 27.



Obr. 26 Schéma zapojení ochrany AT31 k testovacímu zařízení Omicron



Obr. 27 Nastavení měření v QuickCMC

V tomto okně bylo potřeba nastavit hodnoty, které budou na výstupu Omicronu. U tohoto měření stačila jen jedna nastavená veličina elektrický proud. Měření začíná na hodnotě 6 A, jelikož tato hodnota zaručí vybavení ochrany. Tato hodnota byla zvolena po provedeném měření. Měření spočívalo v nastavení jmenovité hodnoty přístroje, která je 5 A na výstup fáze L1. Poté byl nastaven krok a čas na zvyšování proudu. Jako krok byla nastavena hodnota 0,1 A a čas na hodnotu 2 s. K vybavení ochrany došlo při hodnotě 5,8 A. Tohle měření bylo třikrát opakováno a vždy dospělo ke stejnému výsledku. Díky tomuto měření byla stanovena výchozí hodnota na 6 A. Měření se provádělo od 6 A do 30 A. Měření bylo prováděno pro všechny fáze společně, a poté pro každou fází zvlášť. Při měření byl měřen čas vybavení okamžité spouště.

Poté se provedlo připojení časového členu do obvodu, který zpožďoval čas vybavení. Měření probíhalo pro nastavení časového členu na hodnotu 0,2 s, 1 s, 2 s a 3 s. Pro tuto úlohu se postup opakoval jako u měření okamžité spouště.

7. MĚŘENÍ ZÁVISLÉ NADPROUDOVÉ OCHRANY AB31

V této kapitole je probíráno seznámení a měření na nadproudové ochraně AB31. V první části je seznámení a popis ochrany. Následuje detailní popis prvků ochrany a jejich funkce. Dále je zde provedena i fotografická dokumentace s popisem prvků ochrany pro lepší představu.

V následující části je popsána příprava měření a návrh měření. Dále je zde uvedeno a popsáno schéma zapojení měřícího zařízení a ochrany.

Na závěr je popsán postup samotného měření na ochraně AB31 proti přetížení. Je zde popsáno nastavení veškerých hodnot, jak na měřicím prvku, tak i na ochraně, aby bylo možné toto měření zopakovat. Dále je popsán postup měření zkratové spouště ochrany.

7.1. Popis nadproudové ochrany AB31

Pro tato měření byla zvolena nadproudová časově závislá ochrana AB31. Ochrana AB31 měla hlavní využití jako sekundární ochrana transformátorů, motorů a mnoho dalších přístrojů. Tato ochrana dokázala chránit zařízení před přetížením i před náhlými zkraty. Ochrana AB31 je složena ze dvou vybavovacích spouští [16].

7.1.1 Provedení

Tato ochrana se vyráběla ve dvou provedeních s označením AB21 a AB31. Typ AB21 se lišil v provedení zapojení, neboť se jednalo o dvoufázovou ochranu. Ochrana AB21 se používala k ochraně přístrojů menších výkonů. Ochrana AB31 se používala pro třífázové vedení, kde je nulový bod uzemněn. Dala se použít pro variantu přímého uzemnění nebo uzemnění přes odpor. Když měla být ochrana použita pro chránění pohonů, které měly těžké rozběhy, musel být k ochraně připojen pomocný přesycený transformátor PNP [16].

7.1.2 Nadproudové články pro přetížení

Ochrana obsahuje tři nadproudové články, které jsou složeny z bimetalového pásku, který vyhřívá topná cívka z odporového materiálu. Bimetalový pásek je na jedné straně pevně uchycen a na druhé je opřen o druhý bimetalový pásek, který mu klade odpor v prohýbání. Kombinací těchto dvou pásků je dosažena maximální přesnost bez ohledu na okolní teplotu. Při průchodu nadproudu se bimetalové pásky ohřívají a začínají se prohýbat, dokud nedojde k odskočení jednoho pásku od druhého. Hodnota proudu, kterou může nabývat procházející proud, se dá nastavit pomocí jezdce na paralelní cívce. Jezdec zkracuje část spirály a mění tak paralelní odpor. Tyto články jsou zobrazeny na obr. 29. [16].

7.1.3 Ochrana proti zkratu

Ochrana je vybavena také elektromagnetickým členem proti náhlým zkratům. Tento člen je tvořen malým relé na střídavý proud se sklopnou kotvou. Velikost zkratového proudu lze nastavit pomocí sklopné kotvy, která se nastavuje pomocí zkratové stupnice. Čím větší má být zkratový proud, tím více je potřeba vzdálit sklopnou kotvu od jádra. Vzdálenost sklopné kotvy od jádra určuje ručička na stupnici, která je mechanicky spojena se sklopnou kotvou, která je zobrazena na obr. 28. Tato ručička ukazuje zkratový proud na stupnici, při kterém dá ochrana popud k vybavení [16].



- 1) Nastavení zkratové spouště
- 2) Nastavení jmenovitého proudu
- 3) Označení ochrany
- 4) Jmenovitý proud ochrany
- 5) Bimetalová spoušť

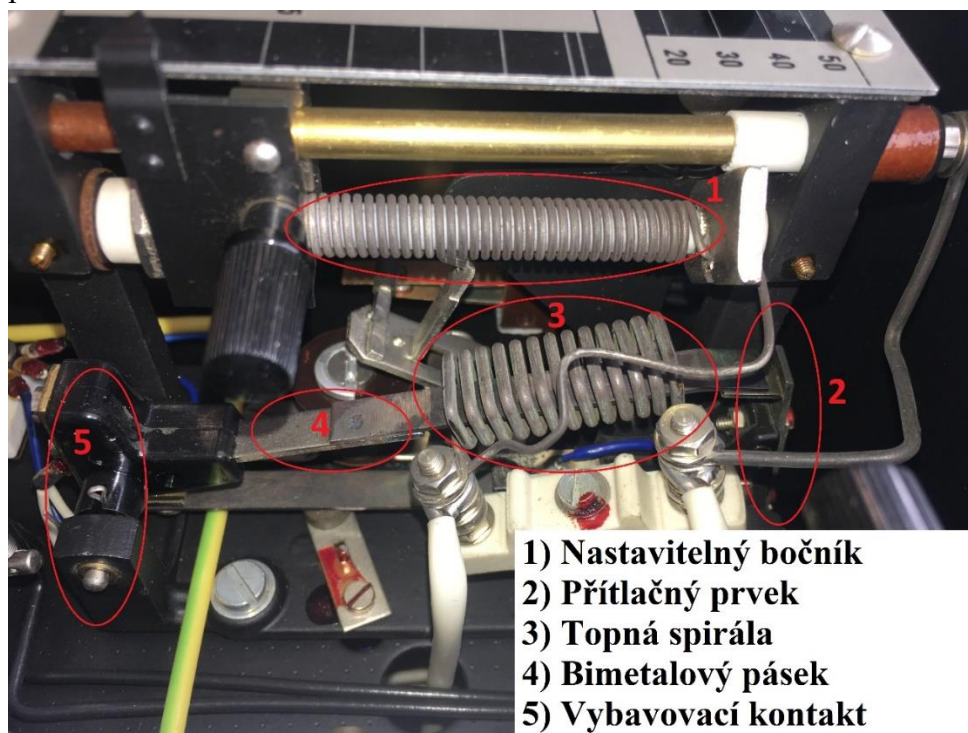
Obr. 28 Popis ochrany AB31 s popisem částí ochrany

7.2. Měření spouště proti přetížení na ochraně AB31

Tato ochrana byla vybrána jako jediná vhodná pro měření nadproudové spouště a k porovnání s moderní ochranou typu REF.

K této ochraně nebyla žádná dokumentace, tudíž byl kontaktován distributor a servisní technik těchto starších ochran. Od servisního technika byla zaslána technická dokumentace, která byla dostatečná k provedení měření.

Jako první bylo nutné vybrat měření, které by bylo vhodné pro starší elektromechanickou ochranu v návaznosti na další měření na digitální moderní ochraně. Dále byl zhotoven postup měření. Ochrana AB31 má dvě závislé nadproudové spouště. V první části měření byla proměřována nadproudová spoušť. Čas, za který ochrana vybaví, závisí na velikosti proudu, který ochranou prochází. Při průchodu nadproudu dochází k daleko většímu zahřívání materiálu, a to způsobuje rychlejší prohnutí bimetalu, tím i rychlejší vybavení. Tuto spoušť lze vidět na obr. 29.



Obr. 29 Ukázka a popis tepelné spouště

Vybavení ochrany za pomoci bimetalu trvá řádově několik desítek sekund. Nejdelší čas vybavení lze očekávat, když se bude proud pohybovat kolem nastaveného násobku proudu neboli jmenovité hodnoty, na kterou je ochrana nastavena. Měření na této spoušti byla prováděna pro proud vyšší než jedenásobek jmenovitého proudu. Jmenovitý proud ochrany byl 5 A a měření bylo prováděno od nastavené hodnoty 7,5 A, což je 1,5násobek jmenovitého proudu. Měření na této hodnotě bylo prováděno, jelikož nižší hodnoty přesahovaly při měření čas 10 minut a naměřené hodnoty se lišily v řádech desítek

Jako první bylo potřeba zapojit ochranu a Omicron dle schématu. Toto schéma lze vidět na obr. 30. Na obrázku jsou vnější a vnitřní zapojení implementována do sebe z důvodu lepší přehlednosti.



Po připojení byl spuštěn program Quickmeasure a opět byla vybrána možnost „QuickCMC“. V tomto okně byly postupně nastavovány hodnoty od 7,5 A do 30 A a byl zaznamenáván čas vybavení. Měření bylo prováděno při uzavřeném zařízení kvůli přesnosti. Při odkrytém přístroji se hodnoty měření lišily až o 10 %. Největší chyby, kterých by bylo možné se dopustit, jsou u nižších hodnot, kde kvůli cirkulaci vzduchu dochází k ochlazení topné spirály, a také i bimetalu. Po každém měření bylo nutné zchlazení bimetalového pásku a počkat na vrácení bimetalu do původní polohy. Chlazení probíhalo s otevřeným zařízením pro urychlení chlazení zařízení a samotného bimetalu. Doba chlazení byla silně závislá na proudu, který procházel zařízením před vybavením. Měření probíhalo pro všechny fáze zvlášť a následně pro všechny tři fáze současně, vždy s nastavenou hodnotou od 7,5 A do 30 A s krokem 2,5 A.

7.3. Měření spouště proti zkratu na ochraně AB31

Dalším úkolem měření na ochraně AB31 bylo změřit zkratovou spoušť ochrany, která je tvořena hrubými nadproudovými články. Při tomto měření bylo použito zapojení z předchozí úlohy. Měření ochrany probíhalo stejně jako u měření ochrany AB31 proti přetížení s tím rozdílem, že byla nastavena zkratová spoušť na menší hodnotu. Tato spoušť se nastavuje přibližováním a oddalováním kotvy, která je pevně spojena s ukazatelem na stupnici. Spoušť byla nastavena na 20 A. Měření probíhalo do 30 A s krokem 1 A. Při měření byly zaznamenány časy vybavení. Nastavení spouště bylo velmi nepřesné a proto hodnoty, které byly naměřeny, jsou až od hodnoty proudu 22 A. Proud pod 22 A vždy vybavila bimetalová spoušť.

8. MĚŘENÍ NA DIGITÁLNÍ OCHRANĚ ABB REF615

V této kapitole je popsána ochrana REF615 a měření s ní. V první části je popis ochrany a popis principů funkcí. Je zde uvedeno, v jakých variantách se ochrana vyrábí a jaké funkce může obsahovat.

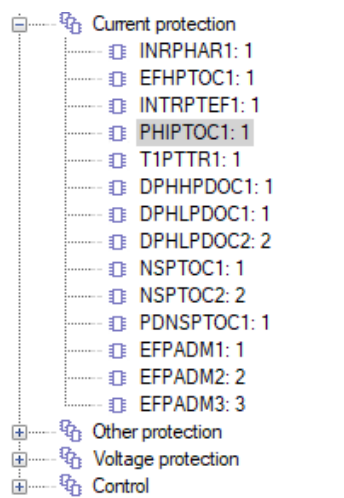
Dále jsou zde popsány detailně funkce ochrany, s kterými probíhalo měření. V této části je i popis, jak tyto funkce nastavit a co se musí provést, aby správně fungovaly.

V další části je popsán samotný průběh měření. V této části jsou popsány hodnoty a nastavení, které byly použity, aby bylo možné toto měření zopakovat.

8.1. Popis ochrany

Ochrana REF615 od firmy ABB je velmi inteligentní elektronické zařízení, které se používá k chránění, ale i k ovládání vývodů v rozvodnách, distribučních sítích a v energetických systémech. Ochrana je především používána k chránění venkovního vedení, kabelových vedení a kabelových vývodů. Skvělou vlastností řady REF615 je její výsuvné provedení, které usnadňuje výměnu a údržbu zařízení. Dle standardní konfigurace je REF615 připraveno pro chránění kabelových vývodů a venkovních sítí s izolovaným nulovým bodem, v odporově uzemněných, v kompenzovaných i účinně uzemněných sítích [17].

REF615 je vyráběna v devíti provedeních A až J a každé provedení má odlišné funkce. Konfigurace v různých typech se liší zejména v ochranných, měřících, ovládacích a monitorovacích funkcích. Výhodou ochrany je, že se dá nastavit přímo pro konkrétního uživatele nebo pro konkrétní instalaci za pomoci programu PCM600. Na obr. 31 lze vidět veškerá proudová nastavení, která lze na ochraně nastavit [17].



Obr. 31 Proudová nastavení ochrany REF615

8.2. Funkční princip ochrany

Ochrana pracuje na určitém algoritmu, který jí udává, jak se má k chráněnému objektu chovat. Funkční princip sleduje mezní nastavené hodnoty a porovnává je s hodnotami v přístroji. Jakmile se algoritmus převede do grafické podoby, objeví charakteristika ochrany [18].

8.3. PHIPTOC1

V nadproudové ochraně lze tuto funkci najít dle normy označení IEC 61850 PHIPTOC1. Tato funkce se řadí mezi mžikové. PHIPTOC1 je určen pro vypínání zkratů, buď bez časového zpoždění, okamžitou spoušť nebo s časovým zpožděním. Ochrana provádí měření proudů a pokud dojde v nějaké fázi k přesáhnutí nastavené hodnoty, ochrana vybaví. V ochraně lze nastavit i čas zpoždění v kolonce „operate delay time“ [18].

8.4. DPHHPDOC2

Toto nastavení ochrany znázorňuje nastavení směrové nadproudové ochrany. Tato ochrana je schopna chránit radiální sítě, u kterých teče proud od zdroje až k místu poruchy. Dále také paralelní a sítě napájené ze dvou stran, u kterých není pravidlem, že proud teče k místu poruchy. U těchto sítí je nutné sledovat směr proudu, aby nedocházelo k odpojení zdravé fáze. Ke správné funkci potřebuje ochrana informace o proudu, ale i napětí. Tyto údaje se odečítají z PTN a PTP [18].

8.5. Postup nastavení REF615

Nejdříve je nutné ochranu připojit k PC a nastavit komunikaci. Pro připojení je nutné u zařízení nastavit IP adresu, a poté je možné zařízení připojit přes ethernetový kabel. Na PC se postupuje následovně: „Ovládací panely“ → „Sít' a internet“ → „Centrum síťových připojení a sdílení“ → „Ethernet“ → „Vlastnosti“ → „Protokol IP verze 4 (TCP/IPv4)“ → „Vlastnosti“. IP adresa v PC musí být kompatibilní s IP adresou v ochranném terminálu. Tam lze IP adresu zjistit přímo z předního panelu a to v „Menu“ → → „Configuration“ → „Communication“ → „Ethernet“ → „Rear port(s)“.

Nastavení pro Omicron je popsáno u dřívějších elektromechanických ochrany v kapitole 7. [18].

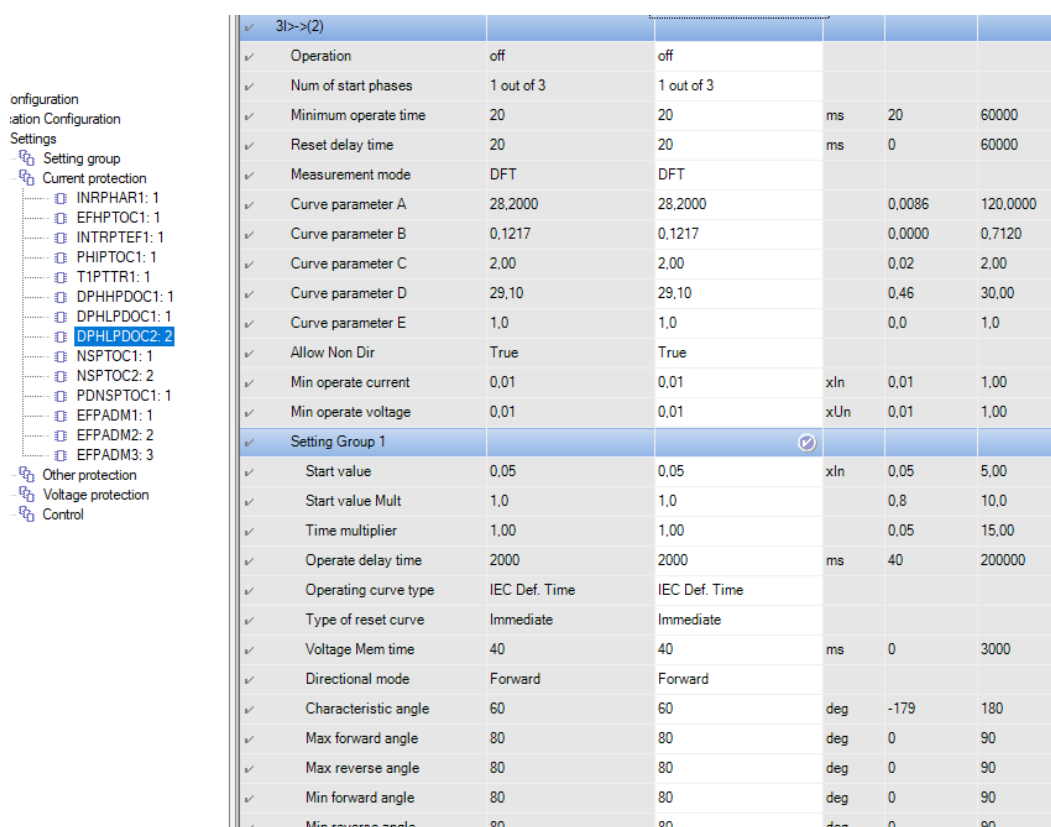
8.6. Nastavení parametrů ochrany

Nastavení ochrany probíhá přes PC program PCM600. První se rozklikne kolonka v levém horním rohu File → New project → otevře se okno Projekt Explorer a v něm plant struktura s novým projektem. Následně se pravým tlačítkem klikne na New → → General → IED Group. V tomto stavu se přidá nová ochrana za pomoci IED Group → New → Feeder IEDs → REF615. Jakmile je vložena ochrana, tak je potřeba zvolit mód konfigurace. Zvolí se online konfigurace, protože ochrana je připojena k PC přes ethernet. Dále je potřeba zvolit port buď přední nebo zadní. Po zvolení předního portu se

ukáže text Communication configuration is now defined. Znovu se nahlédne do plant struktury a zde je vidět zelená ikona. Ikona svítí zeleně jen při správné komunikaci IED s PC. Po tomto nastavení se zobrazí tabulka pro zjištění kódu Order code neboli objednáč číslo. Použije se tlačítko SCAN pro zjištění objednáč číslo a zadá se do ochrany. Po Identifikaci se zobrazí text Function generation ready. Dále se jen zvolí Current protection a ochrana s vlastnostmi, které jsou potřebné pro měření [18].

8.7. Postup měření DPHLPDOC2

Jako první je potřeba zvolit nastavení požadované funkce. Vybere se DPHLPDOC2 a v kolonce „Operation“ se změní nastavení na „ON“. Poté proběhne kontrola, zda jsou veškeré ostatní funkce vypnuty, aby nedocházelo k nechtěnému vybavení. Provede se uložení a přepsání parametrů z PC do ochrany. Další nastavení je nutné provést z důvodu nevyužití napětových vstupů, protože v tomto měření nebude měřen směr proudu. Tento parametr se nastaví v kolonce „Allow Non Dir“ na „True“. Při aktivaci tohoto údaje smí ochrana vybavit i v případě, že nemá údaje o napětí. Nastavení ochrany lze vidět na obr. 32.



Parameter	Value	Unit	Limit
3I->(2)			
Operation	off		
Num of start phases	1 out of 3		
Minimum operate time	20	ms	60000
Reset delay time	20	ms	60000
Measurement mode	DFT		
Curve parameter A	28,2000		0,0086 120,0000
Curve parameter B	0,1217		0,0000 0,7120
Curve parameter C	2,00		0,02 2,00
Curve parameter D	29,10		0,46 30,00
Curve parameter E	1,0		0,0 1,0
Allow Non Dir	True		
Min operate current	0,01	xIn	0,01 1,00
Min operate voltage	0,01	xUn	0,01 1,00
Setting Group 1			
Start value	0,05	xIn	0,05 5,00
Start value Mult	1,0		0,8 10,0
Time multiplier	1,00		0,05 15,00
Operate delay time	2000	ms	40 200000
Operating curve type	IEC Def. Time		
Type of reset curve	Immediate		
Voltage Mem time	40	ms	0 3000
Directional mode	Forward		
Characteristic angle	60	deg	-179 180
Max forward angle	80	deg	0 90
Max reverse angle	80	deg	0 90
Min forward angle	80	deg	0 90
Min reverse angle	80	deg	0 90

Obr. 32 Ukázka nastavení DPHLPDOC2

Po tomto nastavení je nutné nastavit parametr „Start value“, který byl nastaven na 5 A. Ochrana poté musí vybavit každý větší násobek proudu. Násobky proudů se nastavují parametrem „Time multiplier“. Dále je potřeba zvolit křivku, která má být brána jako

výchozí. Pro nastavení křivky se použije parametr „Operating curve type“. Tento parametr se volí vždy dle IEC. Pro měření byla zvolena křivka závislá s dlouhým časem. Parametry křivky, jako časový násobitel a koeficienty, se volí dle předešlého měření na elektromagnetické ochraně AB31. Naměřené hodnoty byly zaneseny do grafu, který nejvíce odpovídal typu charakteristiky závislé s dlouhým časem. Dále byl použit časový násobitel 0,7. Pro toto měření dle nastavené charakteristiky, bylo potřeba provést výpočet (viz vzorec 1.1). Hodnoty koeficientu jsou v tabulce 2.

Výpočet vypínacího časové závislé charakteristiky [12].

$$t = \frac{k \cdot \beta}{\left(\frac{I}{I_B}\right)^\alpha - 1} \quad (1.1)$$

t – vypínací čas ochrany;

k – časový násobitel;

I – velikost poruchového proudu;

I_B – velikost rozběhového proudu;

α, β – koeficienty dle tabulky.

Tabulka 2: Tabulka pro koeficienty α a β nadproudových IEC charakteristik [12]

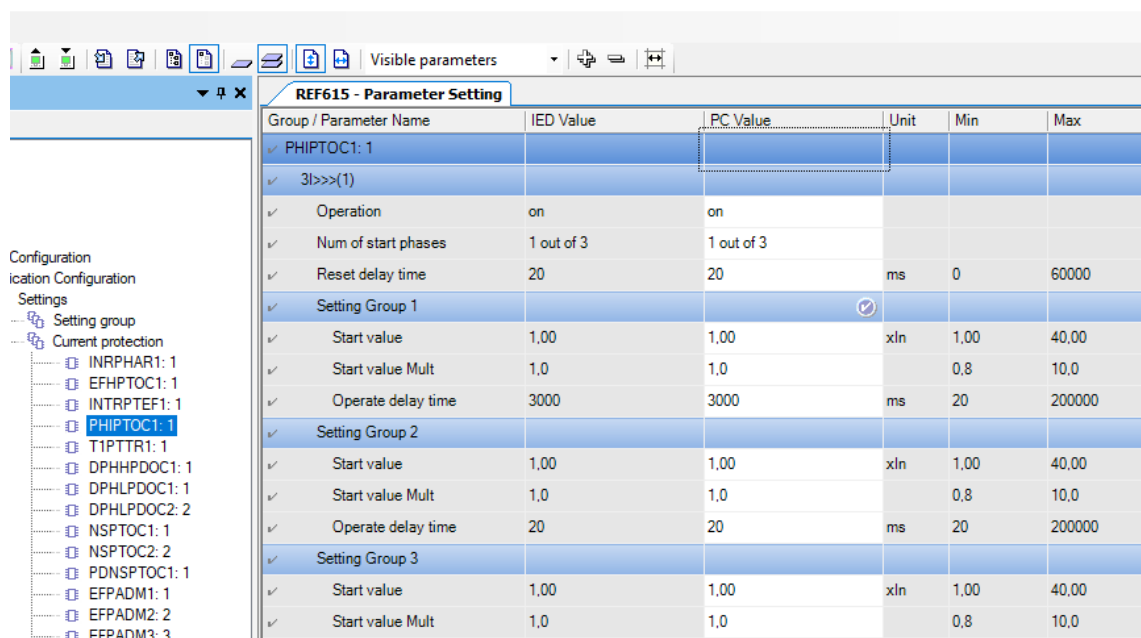
Typ charakteristiky	α	β
Normálně závislá	0,02	0,14
Velmi závislá	1,00	13,5
Závislá	0,02	0,14
Extrémně závislá	2,00	80,00
Závislá s krátkým časem	0,04	0,05
Závislá s dlouhým časem	1,00	120,00

8.8. Postup měření PHIPTOC1

Pro měření této ochrany bylo zapotřebí v kolonce „Operation“ u ochrany DPHLPDOC2 změnit nastavení na „OFF“, a poté se přepnout do ochrany PHIPTOC1. V ochraně PHIPTOC1 se nastaví v kolonce „Operation“ hodnota „ON“. Po tomto nastavení lze nahrát program z PC do ochrany. Při nahrávání musí být v „Plant strukture“ kliknuto na „Current protection“, aby se přešla všechna předešlá nastavení. Po nahrání nastavení do ochrany je zajištěno, že ochrana chybně nevybaví z nějakého jiného nastavení ochrany.

Nastavení proudu se provádí za pomoci parametru „Start value“. Do tohoto parametru se dá násobek jmenovitého proudu pro vybavení ochrany. Dalším parametrem je „Operate

delay time“. V tomto parametru se dá nastavit zpoždění ochrany. V tomto měření byly nastavovány stejné hodnoty jako u ochrany AT31. Po nastavení všech parametrů bylo nutné nahrát parametry z PC do ochrany. Nastavení ochrany lze vidět na obr. 33.



Group / Parameter Name	IED Value	PC Value	Unit	Min	Max
✓ PHIPTOC1: 1					
✓ 3I>>>(1)					
✓ Operation	on	on			
✓ Num of start phases	1 out of 3	1 out of 3			
✓ Reset delay time	20	20	ms	0	60000
✓ Setting Group 1					
✓ Start value	1,00	1,00	xIn	1,00	40,00
✓ Start value Mult	1,0	1,0		0,8	10,0
✓ Operate delay time	3000	3000	ms	20	200000
✓ Setting Group 2					
✓ Start value	1,00	1,00	xIn	1,00	40,00
✓ Start value Mult	1,0	1,0		0,8	10,0
✓ Operate delay time	20	20	ms	20	200000
✓ Setting Group 3					
✓ Start value	1,00	1,00	xIn	1,00	40,00
✓ Start value Mult	1,0	1,0		0,8	10,0

Obr. 33 Ukázka nastavení parametrů PHIPTOC1

9. VÝSLEDKY MĚŘENÍ

V této části bakalářské práce je kompletní vyhodnocení, zhodnocení výsledků a naměřených hodnot. Tato část je rozdělena na zhodnocení výsledků ochran po jejich funkční stránce a porovnání starších elektromagnetických ochran s ochranami digitálními.

Provedeno bylo celkem šest hlavních měření, z toho tři na ochraně AB31, jedno na ochraně AT31 a dvě na ochraně REF615. Jako první jsou zhodnoceny ochrany elektromagnetické, které jsou zhodnoceny, jestli splňují parametry z technické dokumentace. Další měření bylo zaměřeno na ochranu digitální, která poté byla porovnána s ochranami elektromagnetickými.

V příloze jsou umístěny veškeré naměřené hodnoty v přehledných tabulkách a jsou zaneseny do grafů. V následující části jsou vypsány pouze nejdůležitější tabulky a grafy.

9.1. Zhodnocení měření na ochraně AT31

V této části proběhlo zhodnocení mžikové a nezávislé charakteristiky ochrany AT31. A jsou zde přiloženy naměřené a vypočtené hodnoty, které jsou zaneseny do grafů.

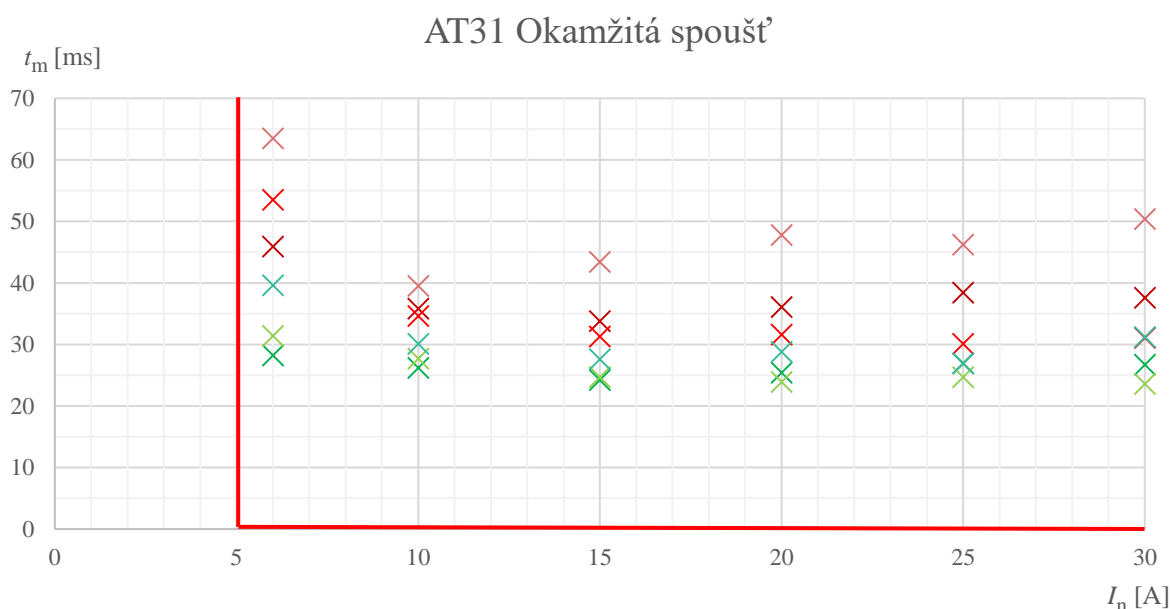
9.1.1 Zhodnocení měření mžikové charakteristiky.

První měření bylo zaměřeno na zhodnocení okamžité spouště. Okamžitá spoušť se dá nastavit dvěma způsoby. První způsob je přepojením příslušných svorek a druhý otočením časovače na nulovou hodnotu. Porovnání naměřených hodnot je vyobrazeno v tabulce č. 3. V tabulce jsou vyobrazeny hodnoty vypínacích času při různé hodnotě nastaveného proudu I_n . Proud, kromě začáteční hodnoty 6 A, byl zvyšován vždy o 5 A až do hodnoty 30 A.

Dle tabulky č. 3 lze vidět, že při vyřazení časového členu bylo dosaženo daleko kratšího vybavení. Průměrně ochrana vybavila na fázi L1 o 11,6 ms, na fázi L2 o 9,03 ms a fázi L3 o 17,3 ms rychleji. Z tohoto měření tudíž vyplynulo, že jestli by měla být ochrana použita jako mžiková, tak musí být vyřazen z obvodu časový člen. Pro lepší přehled byly tyto hodnoty zaneseny do grafu 1. V grafickém zobrazení jsou vyznačeny hodnoty bez časového členu zelenou barvou a naměřené hodnoty s časovým členem červenou barvou.

Tabulka 3: Měřené hodnoty pro měření okamžité spouště ochrany AT31

Závislá ochrana AT31						
I_n	S časovým členem			Bez časového členu		
[A]	Měřený čas vybavení t_m [ms]			Měřený čas vybavení t_m [ms]		
	L1	L2	L3	L1	L2	L3
6	45,9	53,5	63,5	28,2	33,4	42,6
10	35,8	34,6	39,5	26,2	27,7	30,1
15	33,8	31,3	43,4	24,2	24,7	27,6
20	36,1	31,6	47,8	25,4	23,9	28,8
25	38,4	30,1	46,2	26,9	24,7	26,9
30	37,6	31,1	50,4	26,7	23,6	31,2



Graf 1: Vypínací charakteristika ochrany AT31 pro měření nastavení okamžité spouště.
Červeně jsou zaznamenány hodnoty s časovým členem a zeleně bez časového členu

9.1.2 Zhodnocení měření nezávislé nadproudové charakteristiky

V tomto měření byly měřeny vypínací charakteristiky ochrany. Byly měřeny vybavovací časy ochrany při tekoucím proudu do každé fáze zvlášť, a poté do všech tří fází současně. Při tomto měření byly nastavovány proudy od 6 do 30 A. Pro každou měřenou hodnotu byl nastaven časový člen na hodnotu od 0,2 s do 3 s. Toto měření bylo prováděno s nastavením násobku proudu na hodnotu 1. Naměřené hodnoty z tohoto měření pro hodnotu proudu 6 A jsou zobrazeny v tabulce č. 4. Další naměřené hodnoty jsou v příloze v tabulkách č. 20-25. Pro vyobrazení vypínací charakteristiky ochrany musely být naměřené hodnoty přepsány do přehlednější tabulky viz. tabulka č. 5. Naměřené hodnoty byly zaneseny do grafů 2, 3 a 4. Při měření ochrana vybavovala vždy dle technické

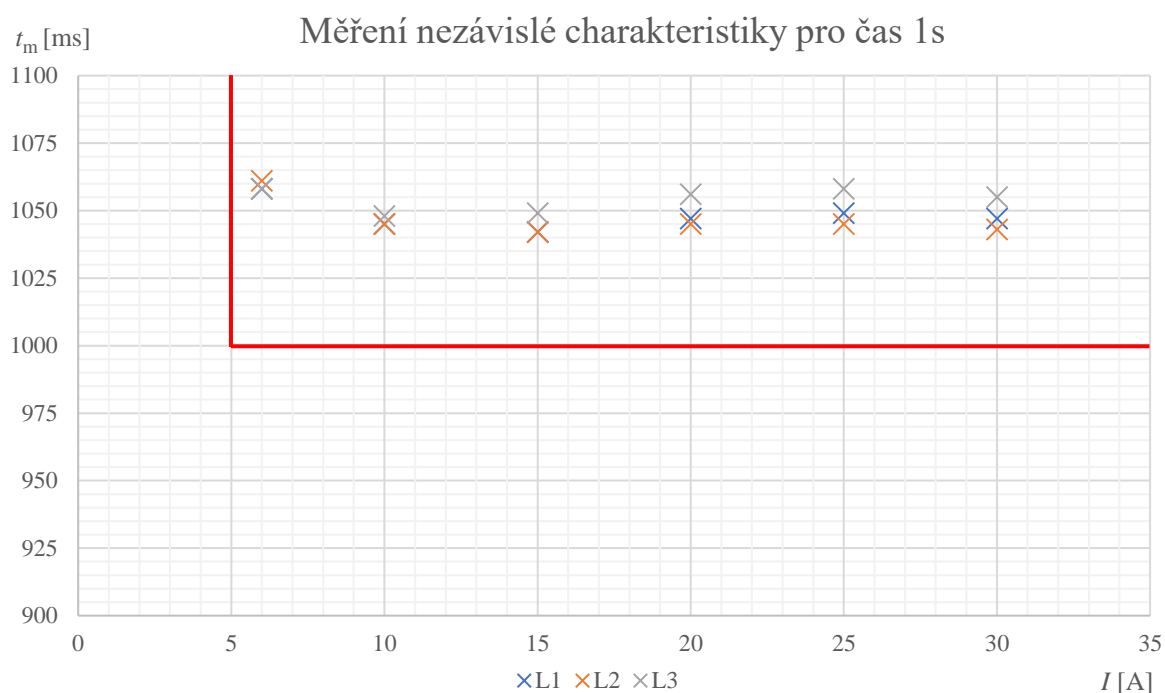
dokumentace, přesně tak, jak bylo požadováno, což je patrné i z grafů. Na grafech je vyznačena červená čára vymezující oblast, ve které ochrana musí vybavit.

Tabulka 4: Měřené hodnoty pro čas vybavení ochrany AT31 při zkratu pro 6 A při různém čase

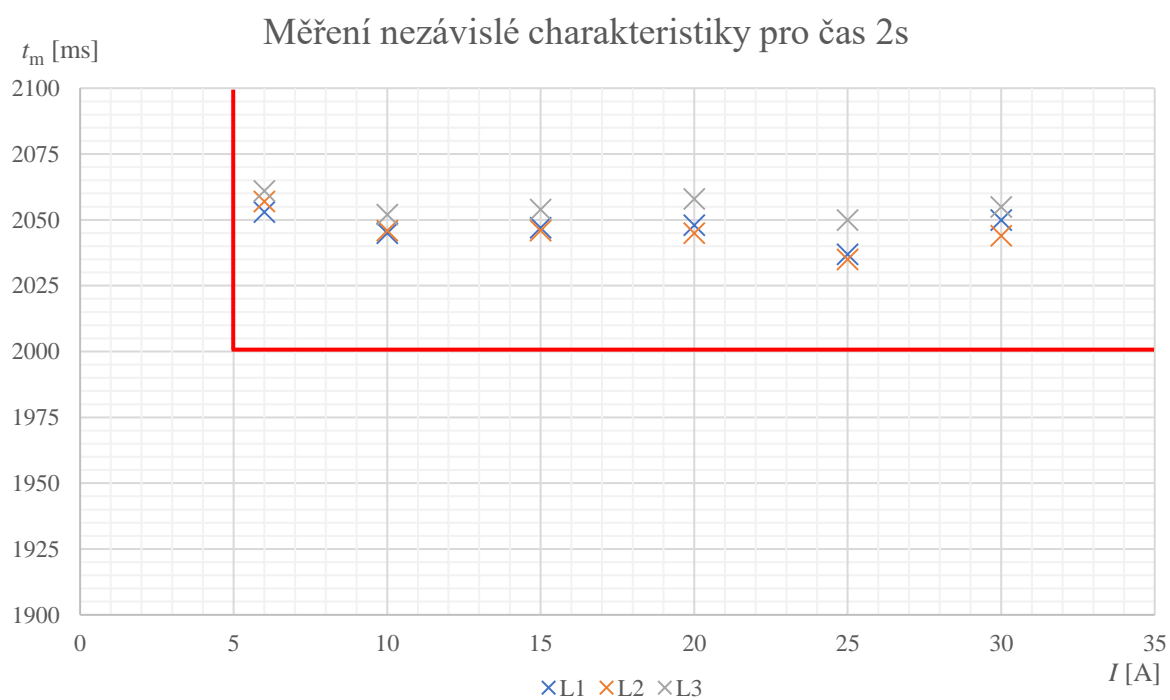
Nezávislá ochrana AT31 při proudu fázi 6 A				
Nastavená hodnota zpoždění	Měřený čas vybavení			
t_n	t_{mL1}	t_{mL2}	t_{mL3}	$t_{mL1,2,3}$
[ms]	[ms]	[ms]	[ms]	[ms]
0,2	243,9	247,8	255,5	246,1
0,6	656,1	659,6	663,5	656,4
1	1058	1061	1067	1058
1,6	1640	1645	1647	1637
2	2053	2057	2061	2054
2,6	2669	2678	2682	2666
3	3054	3058	3063	3053

Tabulka 5: Měřené hodnoty pro čas vybavení ochrany AT31 při zkratu při různém nastaveném proudu ochranou

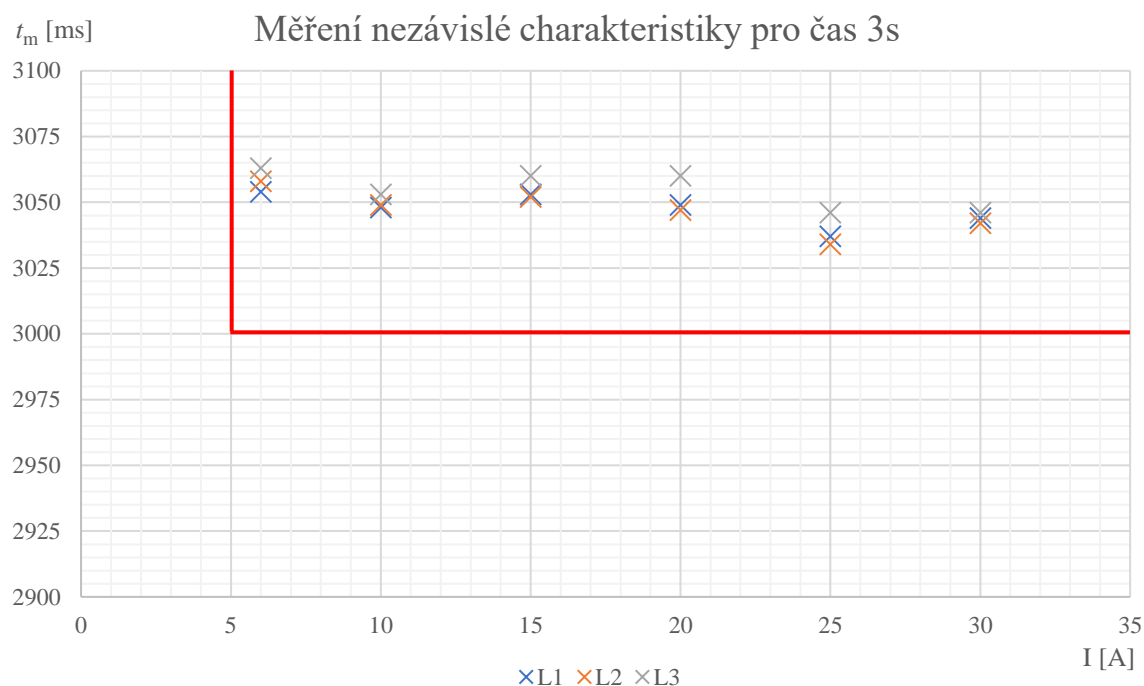
Nastavený proud	Měřený čas vybavení		
I [A]	$t_{mL1(1s)}$ [ms]	$t_{mL1(2s)}$ [ms]	$t_{mL1(3s)}$ [ms]
6	1058	2053	3054
10	1045	2045	3048
15	1042	2047	3053
20	1047	2048	3049
25	1049	2037	3037
30	1047	2050	3044
I [A]	$t_{mL2(1s)}$ [ms]	$t_{mL2(2s)}$ [ms]	$t_{mL2(3s)}$ [ms]
6	1061	2057	3058
10	1045	2046	3049
15	1042	2046	3052
20	1045	2045	3047
25	1045	2035	3034
30	1043	2044	3042
I [A]	$t_{mL3(1s)}$ [ms]	$t_{mL3(2s)}$ [ms]	$t_{mL3(3s)}$ [ms]
6	1058	2061	3063
10	1048	2052	3053
15	1049	2054	3060
20	1056	2058	3060
25	1058	2050	3046
30	1055	2055	3046



Graf 2: Vypínací charakteristika ochrany AT31 pro nastavenou hodnotu zpoždění 1 s, při měření všech tří fází



Graf 3: Vypínací charakteristika ochrany AT31 pro nastavenou hodnotu zpoždění 2 s, při měření všech tří fází



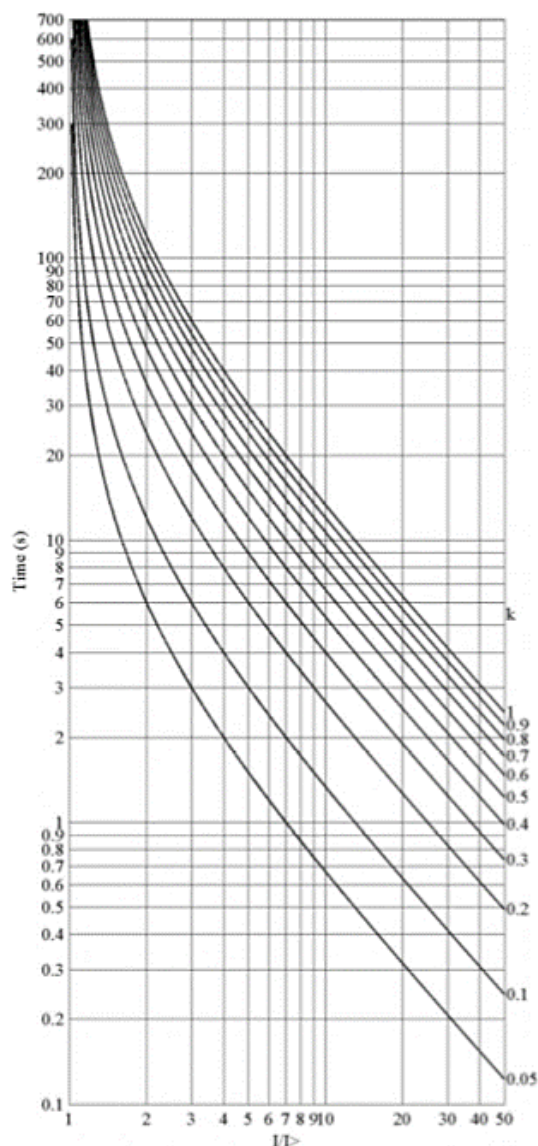
Graf 4: Vypínací charakteristika ochrany AT31 pro nastavenou hodnotu zpoždění 3 s, při měření všech tří fází

9.2. Zhodnocení měření na ochraně AB31

V této části proběhlo zhodnocení ochrany proti přetížení, zkratu a dále jsou zde uvedeny data pro chlazení ochrany a pro následné uvedení zpět do chodu. K této části jsou přiloženy naměřené a vypočtené hodnoty, které jsou zaneseny do grafů.

9.2.1 Zhodnocení měření nadproudové spouště při přetížení

Měření bylo prováděno na každé fázi zvlášť, poté na všech fázích zároveň. Pro měření byla nastavena výchozí hodnota 7,5 A, která byla určena jako minimální hodnota, kterou je ochrana schopna vybavit pod 10 min. Dále se hodnota násobku proudu $n \cdot I_n$ zvyšovala s krokem 0,5 A. Měřila se závislost proudu na času vybavení. Naměřené hodnoty jsou zaneseny do tabulky č.6. Tyto hodnoty byly porovnány s hodnotami z charakteristik závislostí. Nebyla nalezena přesná charakteristika, tak se musela použít přibližná, která je na obr. 34.



Obr. 34 Závislá charakteristika s dlouhou závislostí [21]

Když byla známá přibližná charakteristika ochrany, tak z tabulky 8 byla vyčtena hodnota koeficientů α a β . Hodnoty získané z grafu, jako je časový násobitel a koeficienty, byly použity pro výpočet času vybavení. Byl proveden výpočet dle vzorce 1.2, a tím také určení správné vypočtené hodnoty t_v .

Při zjištění vypočtené hodnoty času t_v lze pokračovat ve výpočtu chyby ochrany δ_L . Výpočet chyby je počítán dle vzorce č.1.3. Byl proveden pro všechny tři fáze a následně byla vypočítána hodnota průměrné chyby jedné fáze. Hodnoty průměrné chyby na jedné fázi byly zaneseny do tabulce č. 6. Naměřené hodnoty času vybavení ochrany byly zaneseny do grafu č.5. Z naměřených hodnot lze soudit, že největší chyby dosahovala ochrana při nízkých proudech. Při nižších proudech byl čas t_m ovlivněn více vlivy, jako například cirkulace vzduchu, zbytkové teplo akumulované v dalších spouštích a mnoho dalších.

Tabulka 6: Měřené hodnoty vybavení ochrany a vypočtené hodnoty chyby ochrany AB31

Závislá ochrana AB31									
Nastavený proud fází		Měřený čas vybavení			Vypočtený čas vybavení		Chyba ochrany		
$n \cdot I_n$	I_n	t_m [s]			t_v [s]		δ_{L1}	δ_{L2}	δ_{L3}
[A]	[A]	L1	L2	L3	bez k	$k = 0,7$	[%]	[%]	[%]
1,50	7,50	195,40	193,10	204,70	240,00	168,00	16,31	14,94	21,85
2,00	10,00	100,70	107,10	100,80	120,00	84,00	19,88	27,50	20,00
2,25	11,00	79,75	74,64	85,80	100,00	70,00	13,93	6,63	22,57
2,50	12,50	60,74	58,42	56,94	80,00	56,00	8,46	4,32	1,68
3,00	15,00	48,22	44,30	41,60	60,00	42,00	14,81	5,48	0,95
3,50	17,50	37,90	35,26	34,10	48,00	33,60	12,80	4,94	1,49
4,00	20,00	31,28	28,78	27,06	40,00	28,00	11,71	2,79	3,36
4,50	22,50	25,22	25,69	24,65	34,29	24,00	5,08	7,04	2,71
5,00	25,00	22,06	22,43	22,30	30,00	21,00	5,05	6,81	6,19
5,50	27,50	18,76	17,90	17,01	26,67	18,67	0,50	4,11	8,88
6,00	30,00	17,45	16,48	16,80	24,00	16,80	3,87	1,90	0,00

Tabulka 7: Vypočtené hodnoty průměrné chyby na fázi ochrany AB31

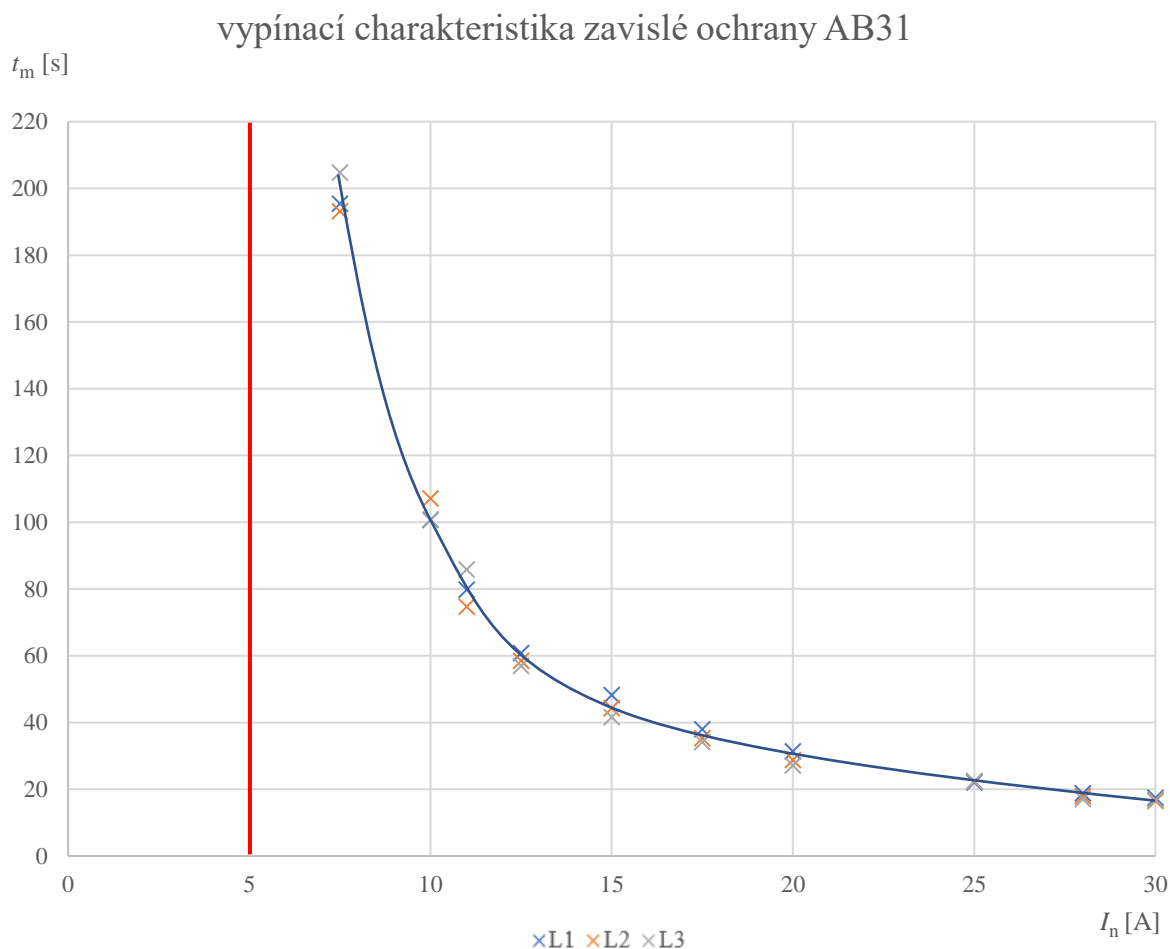
Průměrná chyba na nezávislé ochraně AB31		
$\delta_{\bar{x} L1}$ [%]	$\delta_{\bar{x} L2}$ [%]	$\delta_{\bar{x} L3}$ [%]
10,96	6,95	6,26

$$t = \frac{k \cdot \beta}{\left(\frac{I}{I_n}\right)^\alpha - 1} = \frac{0,7 \cdot 120}{\left(\frac{7,5}{5}\right)^1 - 1} = 168 \text{ s} \quad (1.2)$$

$$\delta_{L1} = \frac{t_m - t_v}{t_v} \cdot 100 = \frac{195 - 168}{168} \cdot 100 = 16,31\% \quad (1.3)$$

Tabulka 8: Tabulka pro koeficienty α a β nadproudových IEC charakteristik [13]

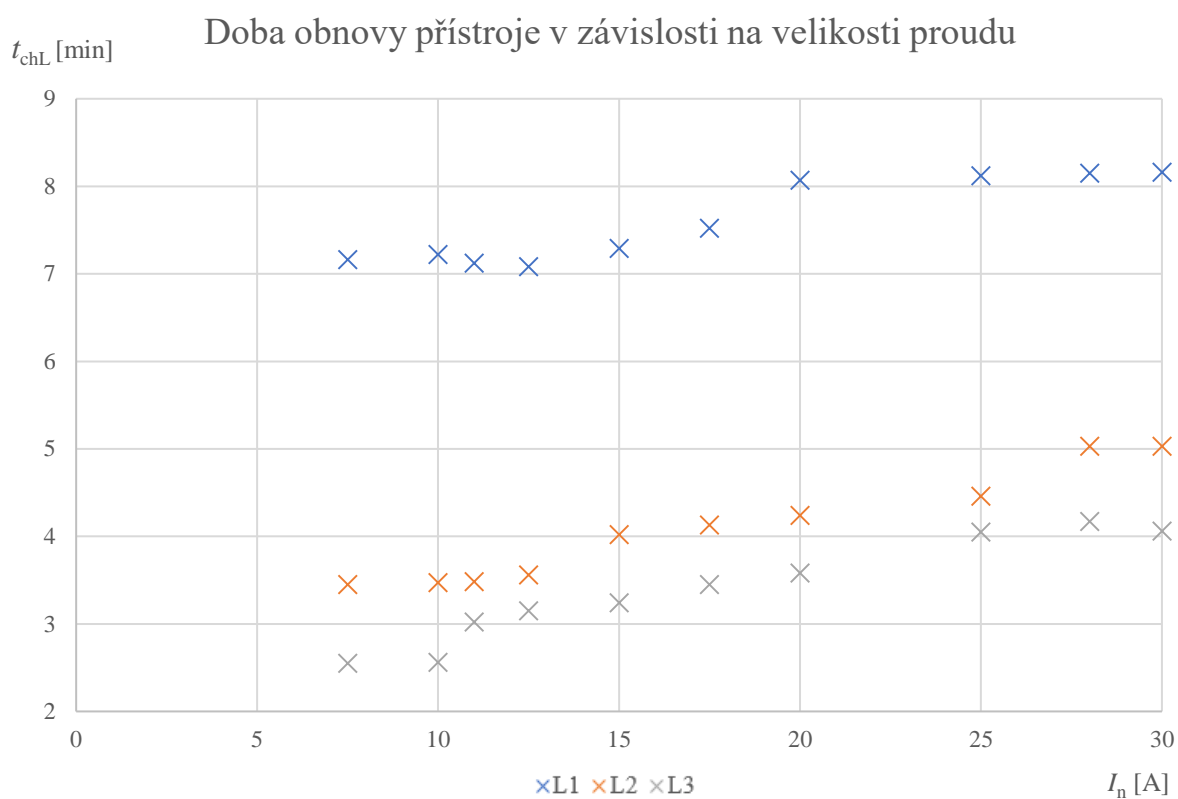
Typ charakteristiky	α	β
Normálně závislá	0,02	0,14
Velmi závislá	1	13,5
Závislá	0,02	0,14
Extrémně závislá	2	80
Závislá s krátkým časem	0,04	0,05
Závislá s dlouhým časem	1	120



Graf 5: Vypínací charakteristika ochrany AB31 pro proud 6-30 A pro každou fázi zvlášť

9.2.2 Zhodnocení obnovy zařízení zpět do plného provozu.

Při měření nadproudové spouště při přetížení bylo na ochraně prováděno vedlejší měření, a to měření ochlazení ochrany a návrat ochrany do plného provozu. Měření se zakládalo na měření času za jak dlouho se bimetalová spoušť vrátí do původní polohy. Měření probíhalo tak, že nejprve byl změřen čas vybavení a ve chvíli vybavení bylo započato měření ochlazení bimetalu. Chlazení bylo prováděno s otevřeným zařízením. Zařízení muselo být odkryto kvůli lepší cirkulaci vzduchu. Tyto naměřené hodnoty byly zaznamenány do tabulky č.9. Z měření lze říci, že při vzrůstajícím proudu rostla i doba zotavení bimetalové spouště, což také potvrzuje graf č.6. Technická dokumentace ochrany udává, že čas zotavení ochrany musí být do 15 minut od vybavení. Tato podmínka je dle měření splněna.



Graf 6: Závislost času chlazení ochrany na proudu protékajícím před vybavením ochrany

Tabulka 9: Měřené hodnoty pro ochlazení bimetalové spouště ochrany AB31

Nastavený proud	Chlazení ochrany AB31		
I [A]	t_{chL1} [min]	t_{chL2} [min]	t_{chL3} [min]
7,50	7,16	3,45	2,55
10,00	7,22	3,47	2,56
11,00	7,12	3,48	3,02
12,50	7,08	3,56	3,15
15,00	7,29	4,02	3,24
17,50	7,52	4,13	3,45
20,00	8,07	4,24	3,58
22,50	8,12	4,46	4,05
25,00	8,15	5,03	4,17
27,50	8,16	5,03	4,06

9.2.3 Zhodnocení měření AB31 proti zkratu

Jako třetí měření na ochraně AB31 bylo měření její zkratové spouště. Pro měření bylo potřeba nastavit zkratové spouště na nižší hodnotu. Měření charakteristik probíhalo od 22 A do 30 A s krokem 1 A. Naměřené hodnoty jsou zaneseny do tabulky 10. Ochrana proti zkratu byla následně porovnána se známými charakteristikami, ale bohužel nešlo s jistotou zjistit, ke které charakteristice lze ochranu přirovnat. Bez dat, které byly potřeba dostat z charakteristiky, nešlo provést následné měření na ochraně REF615 a následné zhodnocení.

Tabulka 10: Měřené hodnoty času vybavení pro nadproudovou ochranu AB31

Nastavený proud fází	Měřený čas vybavení		
I_n	t_m [ms]		
[A]	L1	L2	L3
22,00	90,60	62,90	73,50
23,00	82,90	47,60	58,20
24,00	47,60	35,10	38,30
25,00	38,60	32,10	35,80
26,00	35,90	27,70	31,30
27,00	31,70	24,70	29,60
28,00	28,20	22,70	24,50
29,00	26,30	20,90	23,40
30,00	24,70	20,20	22,60

9.3. Zhodnocení a porovnání nadproudové funkce ochrany REF615 a ochrany AB31 při přetížení.

Na této digitální ochraně byla prováděna dvě měření. Jedno z nich je měření ochrany proti přetížení. Pro realizaci a porovnání bylo nutné nejprve změřit ochranu AB31 a díky tomuto měření byla zjištěna přibližná charakteristika ochrany. Bylo provedeno měření obdobné jako na ochraně AB31 a naměřené hodnoty jsou zobrazeny v tabulce 11. Naměřené hodnoty byly přepočteny vztahem stejným jako u ochrany AB31 a následně byla vypočtena chyba, s kterou ochrana vybavovala. Z těchto naměřených a vypočtených dat bylo provedeno porovnání těchto dvou ochrany.

Tabulka 11: Měřené hodnoty digitální ochrany REF615 a vypočtené hodnoty chyby přístroje

závislá ochrana REF615									
Nastavený proud fází		Měřený čas vybavení			Vypočtený čas vybavení		Chyba ochrany		
$n \cdot I_n$	I_n	t_m [s]			t_v [s]		δ_{L1}	δ_{L2}	δ_{L3}
[A]	[A]	L1	L2	L3	bez k	k = 0,7	[%]	[%]	[%]
1,50	7,50	168,50	168,50	168,50	240,00	168,00	0,30	0,30	0,30
2,00	10,00	84,09	84,14	84,19	120,00	84,00	0,11	0,17	0,23
2,25	11,00	70,90	70,09	70,09	100,00	70,00	0,11	0,13	0,13
2,50	12,50	56,09	56,05	56,09	80,00	56,00	0,16	0,09	0,16
3,00	15,00	42,03	42,04	42,05	60,00	42,00	0,07	0,10	0,12
3,50	17,50	33,63	33,62	33,63	48,00	33,60	0,09	0,06	0,09
4,00	20,00	28,01	28,01	28,01	40,00	28,00	0,04	0,04	0,04
4,50	22,50	24,20	24,10	24,10	34,29	24,00	0,83	0,42	0,42
5,00	25,00	21,00	21,00	21,01	30,00	21,00	0,00	0,00	0,05
5,50	27,50	18,27	18,27	18,27	26,67	18,67	0,02	0,36	0,25
6,00	30,00	16,89	16,89	16,89	24,00	16,80	0,54	0,54	0,54

V tabulce 12 lze vidět porovnání ochran na základě chyby, která byla vypočtena z naměřených hodnot. Tato chyba byla ovlivněna neznalostí přesné charakteristiky ochrany AB31. Z této tabulky lze srovnat chybu starší elektromechanické ochrany vůči ochraně digitální. Dle naměřených a vypočtených hodnot bychom mohli usoudit, že starší ochrana je daleko horší a pracuje s velkou chybou, ale tohle tvrzení nelze potvrdit, protože měření ovlivňovalo spousta chyb. Chyby na straně ochrany vznikaly nepřesným nastavením hodnot proudu a nepřesností elektromechanických částí. Další velká chyba, která se podepsala na tomto měření, byla chyba určování koeficientů α a β , které byly určeny pouze přibližně.

V tabulce 13 jsou zapsány hodnoty vypínacích časů v závislosti na proudu, který protékal ochranou. Zde lze vidět, že ochrana elektromechanická se trochu více vzdaluje vypočtené hodnotě oproti nadproudové funkci ochrany digitální. Tyto nepřesnosti vznikly vlivem vyzařování tepla do okolí, cirkulací vzduchu v ochraně, nemožností nastavit ochranu na přesnou hodnotu a neznalostí přesné charakteristiky ochrany. Byla vynesena závislost času vybavení na protékajícím proudu, kde lze vidět časy vybavení při různě nastaveném proudu ochranou. V grafu č.7 je zeleně zaznamenaná ochrana digitální REF615, modře elektromechanická AB31 a červeně je vynesena závislost vypočtená. Na tomto grafu lze vidět, že ochrana digitální má tak malou chybu, že se takřka překrývá s hodnotou vypočtenou. V grafu č.8 pak lze lépe vidět velikost chyby elektromechanické ochrany ve

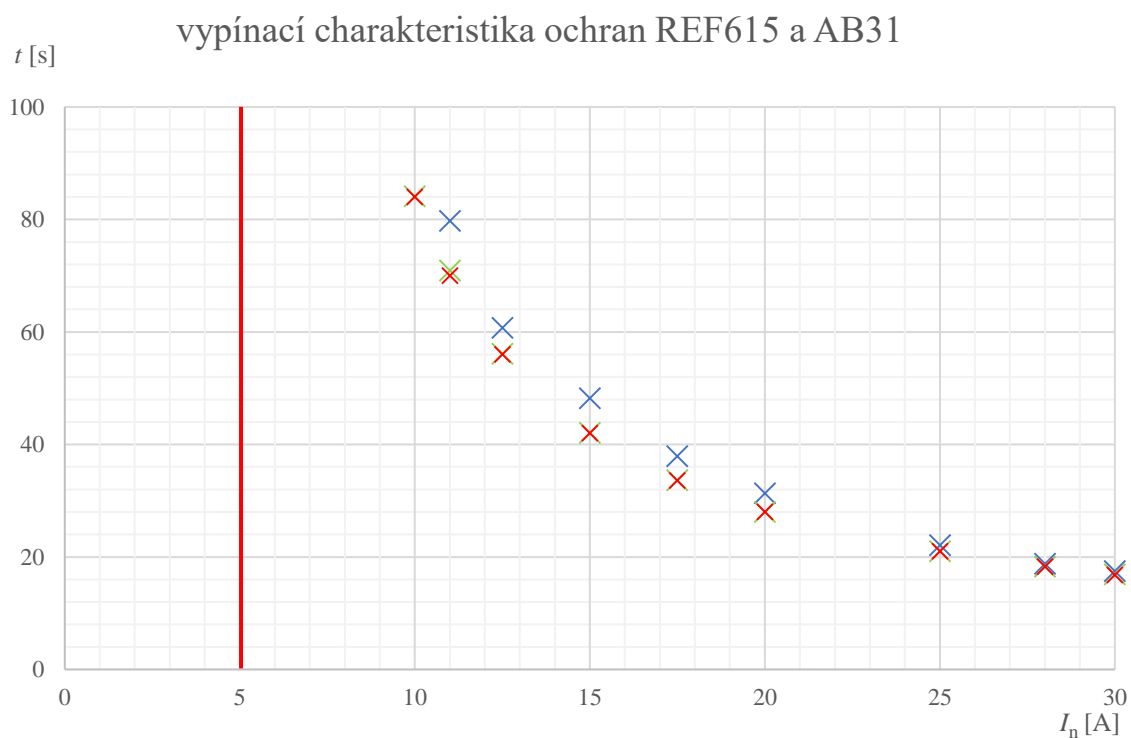
srovnání s ochranou digitální. Tyto vypočtené a vynesené chyby nemůžeme brát úplně za správné, z důvodu zanesení chyb do měření popsaných výše.

Tabulka 12: Vypočtené hodnoty chyb měřených ochran AB31 a REF615

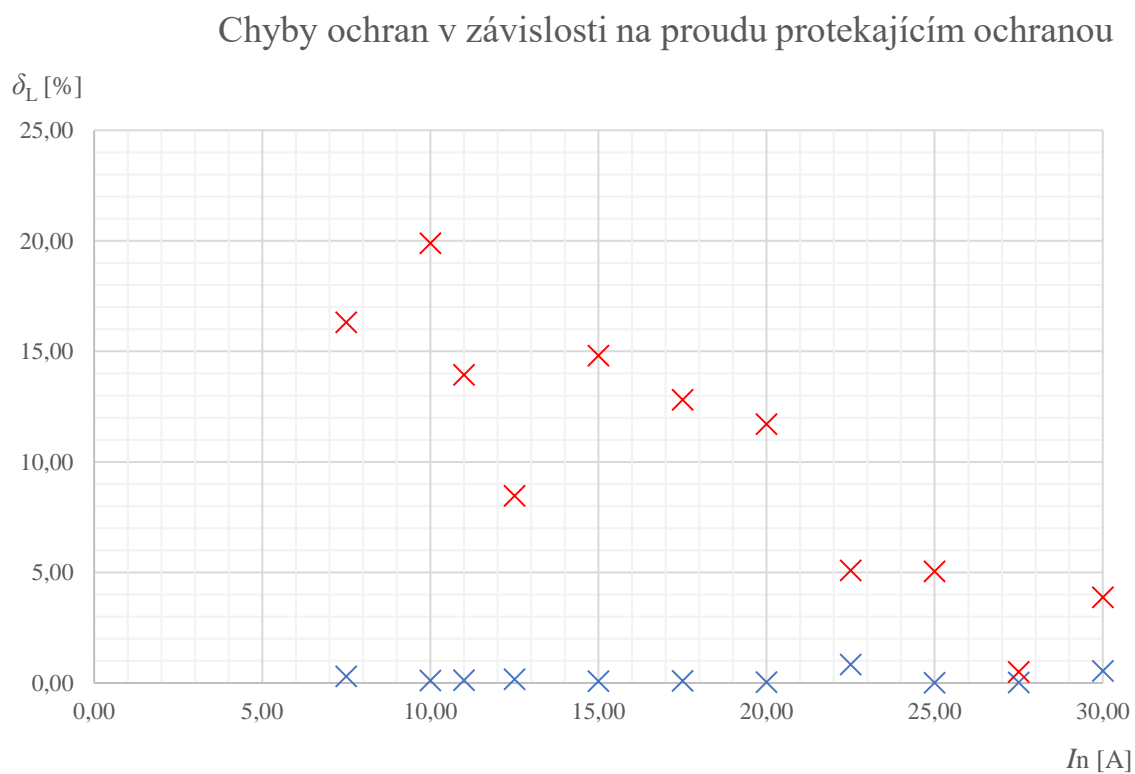
Chyba ochrany AB31			Chyba ochrany REF615		
δ_{L1}	δ_{L2}	δ_{L3}	δ_{L1}	δ_{L2}	δ_{L3}
[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
16,31	14,94	21,85	0,30	0,30	0,30
19,88	27,5	20	0,11	0,17	0,23
13,93	6,63	22,57	0,11	0,13	0,13
8,46	4,32	1,68	0,16	0,09	0,16
14,81	5,48	0,95	0,07	0,10	0,12
12,8	4,94	1,49	0,09	0,06	0,09
11,71	2,79	3,36	0,04	0,04	0,04
5,08	7,04	2,71	0,83	0,42	0,42
5,05	6,81	6,19	0,00	0,00	0,05
0,5	4,11	8,88	0,02	0,36	0,25
3,87	1,9	0	0,54	0,54	0,54

Tabulka 13: Srovnání naměřených a vypočtených hodnot ochran AB31 a REF615 pro fázi L1

Nastavený proud fází	Měřený čas vybavení		Vypočtený čas vybavení
I_n	t_m	t_m	t_v [s]
[A]	[s]	[s]	k = 0,7
7,50	195,40	168,50	168,00
10,00	100,70	84,09	84,00
11,00	79,75	70,90	70,00
12,50	60,74	56,09	56,00
15,00	48,22	42,03	42,00
17,50	37,90	33,63	33,60
20,00	31,28	28,01	28,00
25,00	22,06	21,00	21,00
28,00	18,76	18,27	18,30
30,00	17,45	16,89	16,80



Graf 7: Vypínací charakteristiky ochran REF615 (zeleně), AB31 (modře) a vypočtené hodnoty (červeně)



Graf 8: Grafické znázornění chyby ochrany REF615 (modře) a ochrany AB31 (červeně) v závislosti na proudu pro fázi L1.

9.4. Zhodnocení a porovnání nadproudové funkce ochrany REF615 a ochrany AT31 při zkratu.

Druhé měření na ochraně REF615 bylo zaměřeno na měření zkratu, porovnání a srovnání hodnot s ochranou AT31. Měření probíhalo se stejným nastavením jako u ochrany AT31, pro hodnoty proudu 6 až 30 A s krokem zvyšování proudu 5 A. Při každé hodnotě proudu se měřily hodnoty vybavení ochrany pro nastavené časy zpoždění 0,2 až 3 s. Naměřené hodnoty jsou v tabulce 14. Další naměřené hodnoty jsou v příloze v tabulkách č. 26–28. Z tabulky č. 14 lze soudit, že ochrana digitální je mnohem více přesnější a rychlejší. Tato skutečnost je zobrazena v tabulce 15, kde je porovnání vypočtených chyb ochrany. Správná hodnota pro výpočet se vzala nastavená hodnota času t_n . Tento výpočet je zobrazen v rovnici 1.3. Tyto hodnoty lze lépe porovnat v grafu 9. V grafu lze pozorovat, že největší chyby se dopouští ochrany při nejmenším nastaveném časovém zpoždění. Chyby na starší elektromechanické ochraně jsou způsobeny jejím hardwarovým vybavením, které není schopno mechanicky vybavit spoušť v kratším čase. Ochrana by se dala zpřesnit na základě měření, ve kterém by byl měřen čas vybavení ochrany. Při známé hodnotě vybavení ochrany bez zpoždění, by se tato hodnota dala odečíst od hodnoty nastaveného zpoždění a tuto hodnotu nastavit jako nové zpoždění.

$$\delta_{L1} = \frac{t_m - t_n}{t_n} \cdot 100 \quad (1.3)$$

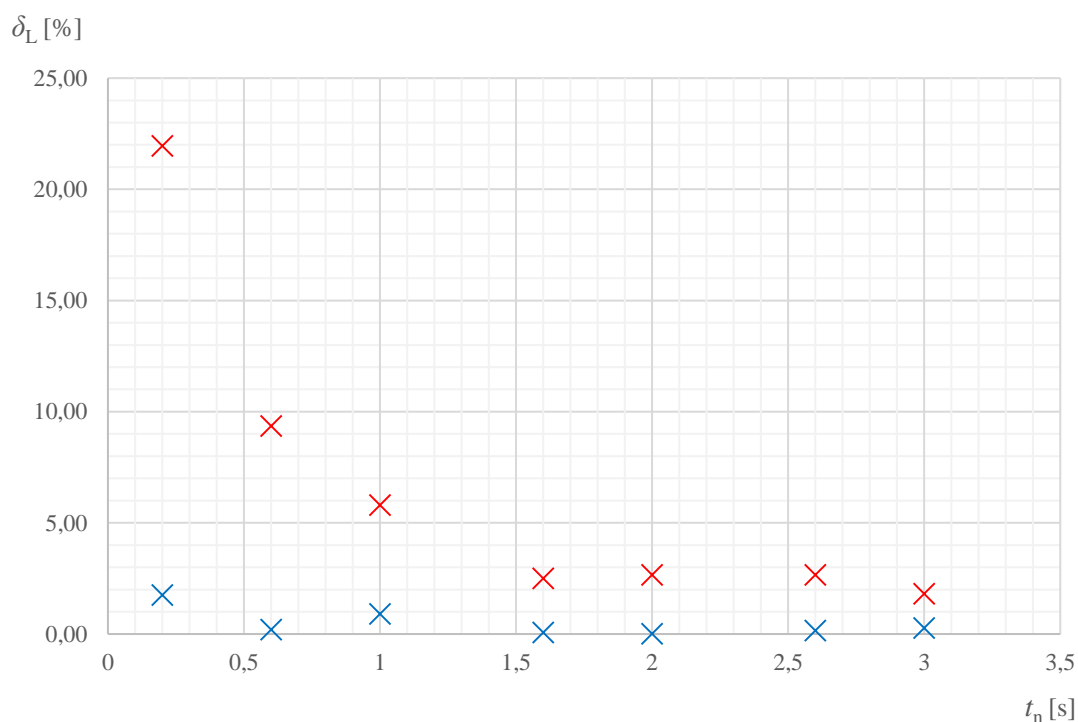
Tabulka 14: Naměřené hodnoty nezávislé ochrany REF615 pro různá nastavení času zpoždění

Nezávislá ochrana REF615 při proudu fáze 6 A				
Nastavená hodnota zpoždění	Měřený čas vybavení			
t_n	t_{mL1}	t_{mL2}	t_{mL3}	$t_{mL1,2,3}$
[s]	[ms]	[ms]	[ms]	[ms]
0,2	203,5	198,2	201,5	199,9
0,6	601,2	599,2	598,6	600,2
1	1009	1008	1004	1002
1,6	1601	1607	1602	1603
2	1998	1999	2001	2002
2,6	2604	2602	2601	2601
3	3008	3009	3005	3002

Tabulka 15: Vypočtené hodnoty chyb ochran vůči nastavené hodnotě

Nastavené zpoždění	Chyba ochrany REF615			Chyba ochrany AT31		
t_n	δ_{L1}	δ_{L2}	δ_{L3}	δ_{L1}	δ_{L2}	δ_{L3}
[s]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
0,20	1,75	0,90	0,75	21,95	23,90	27,75
0,60	0,20	0,13	0,23	9,35	9,93	10,58
1,00	0,90	0,80	0,40	5,80	6,10	6,70
1,60	0,06	0,44	0,13	2,50	2,81	2,94
2,00	0,01	0,05	0,05	2,65	2,85	3,05
2,60	0,15	0,08	0,04	2,65	3,00	3,15
3,00	0,27	0,30	0,17	1,80	1,93	2,10

Závislost chyby ochran na nastaveném zpoždění vybavení



Graf 9: Grafické znázornění chyby ochrany REF615 (modře) a ochrany AT31 (červeně) v závislosti na proudu pro fázi L1.

10. EXPOZICI HISTORICKÝCH OCHRAN

V poslední kapitole bakalářské práce byla provedena příprava pro expozici starších ochranných zařízení. Pro tuto expozici byly vybrány čtyři elektromechanické ochrany, které měly kompletní dokumentaci. V této části bylo nutné vytáhnout z dokumentace hlavní informace a parametry ochrany a sepsat je. Tyto informace a parametry jsou uvedeny v textu 10.1 až 10.4. Tato expozice by měla seznámit návštěvníka školy s elektromechanickými ochrannými zařízeními a rychle mu představit funkce a parametry. Realizaci této expozice můžeme vidět na obr. 35.

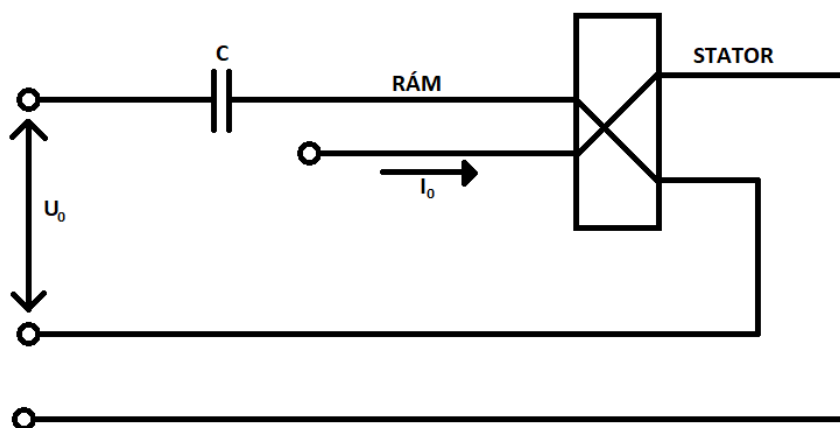
Dále by tato expozice mohla sloužit k výukovým účelům jako demonstrace elektrických relé a ukázka funkcí ochranných zařízení. Výhodou těchto starších ochranných zařízení je, že člověk přesně vidí, co se děje a jak ochrana funguje.



Obr. 35 Ukázka expozice tvořená čtyřmi exponáty s popisem

10.1. Zemní směrová ochrana GSS 11

GSS 11 je zemní směrová ochrana (jalová). Tato ochrana je určena především pro chránění nekompenzovaných sítí, anebo nekompenzovaných kabelových vedení. Tato ochrana chrání před trvalým zemním spojením. Účel těchto ochran je různý a liší se podle toho, zda je zemní proud kompenzován nebo není. Ochrana, která je zde uvedena, je pro vedení, které není kompenzováno, a proto musí ochrana co nejdříve vybavit. Je to z toho důvodu, aby přepětí vzniklá zpětnými zápalami při zemním oblouku, nepoškodila rozvodná zařízení, nezpůsobila přeskoky na izolátory a nedošlo k přepálení vodičů. Kdyby se měla chránit síť kompenzovaná, musela by se pořídit ochrana GSC 11. Konstrukce ochrany je řešena normalizovanou skříní K II. Na obrázku č. 36 můžeme vidět schéma ochrany [22].



Obr. 36 Schéma ochrany GSS 11

Základní člen zemní ochrany je velice citlivé elektrodynamické relé. Statorové vinutí je buzeno nulovou složkou proudu a rámeček je napájen nulovou složkou napětí. Na relé vzniká moment jen v případě, že se objeví obě tyto složky. Tento moment podle směru nulového výkonu vychýlí relé buď k zapínacímu kontaktu anebo v druhém případě přitlačí ještě více klidový kontakt [20].

Tabulka 16: Technické parametry zemní ochrany [20]

Jmenovité napětí	220 V
Jmenovitý proud	5A
Jmenovitá frekvence	50 nebo 60 Hz
Spotřeba	17 VA
Přetížitelnost trvalá	1,1 U_n a 1,4 I_n
Vybavovací rychlost	Cca 40 ms
životnost	2000 vybavení

10.2. Napět'ová ochrana V32

V32 se používá jako přesná nadpět'ová nebo podpět'ová ochrana elektrických zařízení při zvýšení nebo snížení napětí mimo nařízenou hodnotu. Zařízení se vyznačuje malou spotřebou, velkým přídržným poměrem a velkou zkratovou odolností. Těchto ochran jsou dva typy, první pro stejnosměrné napětí V32 S1 a druhý pro střídavé napětí V32. Tyto typy ochran dlouho v provozu nebyly a byly nahrazeny ochranou V15. Tato ochrana byla odolnější proti zkratovým proudům a dokázala vybavit v kratším čase. Bohužel se musely použít pro třífázový obvod hned tři ochrany pro každou fázi jedna [19].

Provedení:

Základ tvoří relé, které je složeno z elektromagnetického článku. Článek se skládá z magnetického obvodu, budící cívky, otočné kotvy, zapínacím a rozpínací kontaktem, padáčkem pro signalizaci vybavení a tlačítkem pro nastavení žádané napět'ové hodnoty [19].

Princip napět'ového relé:

Síla působící na otočnou kotvu způsobuje rostoucí napětí. Síla se zvětšuje až do momentu, kdy direkční pružiny a kotva přeskočí z klidového polohy do pracovní. V tomto stavu se rozpínací kontakt rozepne a zapínací sepne a padáček zobrazí signalizaci, že ochrana vybavila. Sníží-li se budící napětí, pak síla začne klesat až do bodu, kdy se neudrží v pracovní pozici a vrátí se do klidové pozice. Podpět'ové relé funguje přesně naopak. Po každém vybavení se musí znovu nastavit padáček pro signalizaci vybavení. Nastavení těchto dvou režimů se provádí propojením daných kontaktů [19].

Tabulka 17: Technické parametry ochrany V32 [19]

Jmenovité napětí	100V, 230V, 400V
Jmenovitá frekvence	50 nebo 60 Hz
Pomocné napájení	18-60 Vss
Maximální zapínací proud	15 A po dobu 4s
Trvalá přetížitel'snot	$2 \times U_n$
Dielektrická odolnost	2kV při 50Hz po dobu 1min
Přesnost	$\pm 3 \%$ z nastavené hodnoty
Doba náběhu (návratu)	45-50 ms ± 5 ms
Hmotnost	2,5 kg

10.3. Časová nadproudová ochrana AT31

Ochrana typu AT31 je nadproudová ochrana, která se používala dříve jako ochrana proti přetížení a zkratovým proudům. Nejvíce vhodná byla pro použití, kde byly nároky na nízkou spotřebu v proudovém obvodu a vysoký přídržný poměr. Ochrana je osazena přesným časovým článkem, který dokáže reagovat na nastavený čas, a tím správně fungovat v selektivním jištění. [15]

Provedení ochrany

Ochrana je rozdělena na kryt a na vnitřní zařízení. Kryt je tvořen základní deskou z umělé hmoty, která tvoří záda ochrany. Boky ochrany jsou z lisovaného ocelového plechu a víko částečně ze skla a umělé hmoty. Konstrukce celé ochrany umožňovala montáž i s přívodem přímo ze zdi, přes zadní plastový kryt ochrany. Jediným ovládacím prvkem vyvedeným mimo samotný přístroj je tlačítko pro ovládání vybavovacího padáčku, a to jak pro koncové relé, tak i pro proudové články [15].

Nadproudové měřicí články

Tyto články se skládají z přesných elektromagnetických relé, která jsou konstruována otočnou kotvou, která v důsledku průchodu proudu, se začne stahovat. Při stažení tato kotva funguje jako pružina a při určité síle udeří do kontaktu, a tím dá pokyn k zahájení odečtu času [15].

Časový článek

Tento článek pracuje na elektronickém principu a potřebuje vlastní zdroj napájení. Při sepnutí nadproudového článku započne odpočet nastavené hodnoty. Tento článek má ještě jeden kontakt, který se nazývá okamžitý [15].

Koncové relé

Koncové relé je pomocné stejnosměrné relé, které slouží k signalizaci a vybavení celé ochrany. Relé je realizováno za pomoci příklopné kotvy. Toto relé, stejně jako časový člen, potřebuje zvlášť napájení, a to 220 V stejnosměrných [15].

Tabulka 18: Technické parametry ochrany AT31 [15]

Jmenovitý proud	5 A
Jmenovitá frekvence	50-60 HZ
Přesnost časového článku	$\pm 5 \%$
Spotřeba při $I_n = 5 \text{ A}$	0,9-1,1 VA
Pracovní podmínky	-10 +40 °C
Maximální zkratová pevnost	500 A
Napájení	220 Vss

10.4. Časové nadproudové relé AB31

Relé AB31 měla hlavní využití jako sekundární ochrana transformátorů, motorů a mnoho dalších přístrojů. Tato ochrana dokázala chránit zařízení před přetížením i před náhlými zkraty. Ochrana AB31 je složena ze dvou vybavovacích spouští [16].

Provedení ochrany

Tato ochrana se vyráběla ve dvou provedeních s označením AB21 a AB31. Ochrana AB21 se používala k ochraně přístrojů menších výkonů. Ochrana AB31 se používala pro třífázové vedení, kde je nulový bod uzemněn. Ochrana se dala použít pro variantu přímého uzemnění nebo uzemnění přes odpor. Při chránění pohonů, které mají těžké rozběhy, musí být k ochraně připojen pomocný přesycený transformátor PNP [16].

Nadproudové články pro přetížení

Ochrana obsahuje tři nadproudové články, které jsou složeny z bimetalového pásku, který vyhřívá topná cívka z odporového materiálu. Bimetalový pásek je na jedné straně pevně uchycen a na druhé je opřen o druhý bimetalový pásek, který mu klade odpor v prohýbání. Kombinací těchto dvou pásků je dosažena maximální přesnost bez ohledu na okolní teplotu. Při průchodu nadproudu se bimetalové pásky ohřívají a začínají se prohýbat, dokud nedojde k odskočení jednoho pásku od druhého. Hodnota proudu, kterou může nabývat procházející proud, se dá nastavit pomocí jezce na paralelní cívce [16].

Ochrana proti zkratu

Ochrana je vybavena také elektromagnetickým členem proti náhlým zkratům. Tento člen je tvořen malým relé na střídavý proud se sklopnou kotvou. Velikost zkratového proudu lze nastavit pomocí sklopné kotvy, která se nastavuje pomocí zkratové stupnice. Čím větší má být zkratový proud, tím více je potřeba vzdálit sklopnou kotvu od jádra. Vzdálenost sklopné kotvy od jádra určuje ručička na stupnici, která je mechanicky spojena se sklopnou kotvou. Tato ručička ukazuje zkratový proud na stupnici, při kterém dá ochrana popud k vybavení [16].

Tabulka 19: Technické parametry ochrany AB31 [16]

Jmenovitý proud	5 A
Kmitočet	40 - 60 Hz
Návrat tepelného členu	5 - 15 MIN
Spotřeba při $I_n = 5$ A	5 VA
Pracovní podmínky	-10 +40 °C
Nadproudové články rozsah	20 – 50 A
Tepelné články rozsah	5 – 8 A

ZÁVĚR

Úvodní kapitola bakalářské práce se zabývala historií a mapováním elektrických ochran. Mapování začíná již v 19. století a ukončuje jej až éra digitálních ochran. Celá tato kapitola je rozdělena do tří částí podle typu ochran. Do těchto tří částí patří ochrany elektromechanické, elektronické a digitální.

Druhá kapitola bakalářské práce byla část praktická. V této části byla provedena měření nadproudových elektromechanických a digitálních ochran. Tato měření byla prováděna pro následné porovnání a zhodnocení těchto ochran.

Jako první byly měřeny ochrany elektromechanické, ke kterým musely být navrženy postupy měření, ale i schéma zapojení. Ve druhé části byla měřena ochrana digitální pro porovnání s ochranami elektromechanickými. Byly měřeny vypínací charakteristiky a následně z naměřených hodnot vypočteny chyby ochran. Tyto hodnoty byly zpracovány do přehledných tabulek a grafů.

Po měření lze zhodnotit ochrany po všech stránkách. Z výsledků vyplývá, že všechny ochrany fungovaly správně. Z provedeného měření lze říct, že ochrany digitální jsou daleko jednodušší pro obsluhu a práce s nimi je velice rychlá a snadná. Největší výhodou digitálních ochran je přesné nastavení parametrů pro vybavení ochrany. Nastavení parametrů ochrany elektromechanické bylo sice snazší, a to jen pohybem jezce na stupnici, ale díky jednoduchosti vznikaly velké nepřesnosti. Dalším důležitým srovnáním je velikost zařízení. Každá elektromechanická ochrana měla jen jednu nebo dvě činnosti, ale digitální ochrany jich mají desítky implementovaných do jednoho zařízení a tím vzniká obrovská úspora místa. Další zjištěnou výhodou je, že ochrana digitální je po zkratu okamžitě připravena k dalšímu vybavení na rozdíl od ochran elektromagnetických. Elektromechanické ochrany měly také jednu velkou výhodu, a to viditelný princip jejich funkce, protože veškeré prvky byly elektromechanické. Díky jednoduché konstrukci se daly provádět i další měření jako například měření každého prvku ochrany zvlášť.

Ve třetí části bakalářské práce byla zhotovena příprava pro malou expozici historických elektromechanických ochran. Ochrany do expozice byly vybrány dle několika kritérií. Prvním kritériem byla velikost ochrany, aby se dala expozice přesouvat. Dále bylo nutné vybrat ochranu, která dostatečně otevřená, aby bylo možné nahlédnout na princip fungování. A v neposlední řadě bylo nutné vybrat ochranu, ke které je kompletní dokumentace, aby mohla být přiložena k ochraně.

LITERATURA

- [1] Vznik a vývoj přenosové soustavy elektrické energie. *Tzbinfo* [online]. Praha: TZB-info, 2016 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/13645-vznik-a-vyvoj-prenosove-soustavy-elektricke-energie>
- [2] SCHOSSIG, Walter. Protection History. Generator Protection. *PACWORLD* [online]. Germany: PAC World, 2009 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: https://www.pacw.org/issue/spring_2009_issue/history/protection_history_generator_protection/article/2.html
- [3] JANÍČEK, František, Vladimír CHLADNÝ, Anton BELÁŇ a Žaneta ELESCHOVÁ. *Digitálne ochrany v elektrizačnej sústave*. Bratislava, Vozová 5: STU, 2004, 360 s. ISBN 80-227-2135-2.
- [4] SCHOSSIG, walter. Protection History: Generator Protection. *PACWORLD* [online]. Germany: PAC World, 2009 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: https://www.pacw.org/en/issue/autumn_2009_issue/history/protection_history_reversepower_protection_differential_turntoturnfault_and_overvoltage_protection_for_generators/complete_article/1.html
- [5] SCHOSSIG, walter. Generator Protection - Rotor Earth Fault Protection. *PACWORLD* [online]. Germany: PAC World, 2010, 2010 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: https://www.pacw.org/en/issue/march_2010_issue/history/protection_history_generator_protection.html
- [6] LUNDQVIST, Bertil. 100 years of relay protection, the Swedish ABB relay history. *SCRIBD* [online]. Sweden: ABB Automation Products, 2001 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: <https://es.scribd.com/document/378577141/PAPER-2001-08-en-100-Years-of-Relay-Protection-the-Swedish-ABB-Relay-History>
- [7] SCHOSSIG, walter. Static Protection Devices. *PACWORLD* [online]. Germany: PAC World, 2013 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: https://www.pacw.org/issue/december_2013_issue/history/protection_history_generations_of_protection.html

- [8] SCHOSSIG, Walter. Passive and Active Semiconductors, Transmitters and Transistors. *PACWORLD* [online]. Germany: PAC World, 2013 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: https://www.pacw.org/issue/september_2013/issue/history/protection_history_generations_of_protection.html
- [9] SCHOSSIG, walter. The Development of Digital Protection. *PACWORLD* [online]. Germany: PAC World, 2014 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: https://www.pacw.org/issue/march_2014/issue/history/protection_history.html
- [10] SCHOSSIG, walter. The First Digital Protection Relays. *PACWORLD* [online]. Germany: PAC World, 2014 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: https://www.pacw.org/issue/june_2014/issue/history/protection_history.html
- [11] SCHOSSIG, Walter. PACWORLD. *PACWORLD* [online]. Bridgeton, MO 63044: Pac world, 2009, 4.10.2009 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: https://www.pacw.org/issue/summer_2009/issue/history/protection_history_generator_protection.html
- [12] ORSÁGOVÁ, Jaroslava, Jan NOVOTNÝ a David TOPOLÁNEK. *Primární testování elektrických ochran*. BRNO VUT FEKT(2013). http://www.ueen.feec.vutbr.cz/cz/images/stories/OPVK_ePower/MESV/Laboratorni_navod_MESV_4.pdf. Výukový materiál. VUT.
- [13] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Rozvodná zařízení* [online]. BRNO VUT FEKT, 2013 [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: http://www.ueen.feec.vutbr.cz/cz/images/stories/OPVK_ePower/BRZB/Ucebni_text_BRZB.pdf. Výukový materiál. VUT.
- [14] *Ověření vývodové ochrany ABB* [online]. BRNO VUT FEKT, 2015 [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_ve-rejne.php?file_id=103617. Bakalářská práce. VUT. Vedoucí práce Ing. David Topolánek, PhD.
- [15] AT12,21,31 Nadproudové časové ochrany. In: *Dohnalek* [online]. Pardubice: VČT Pardubice, 1988, 1988 [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: http://www.dohnalek.cz/dokumenty/KL-AT_X1.pdf

- [16] Tepelná nadproudová časová relé AB 21, AB 31. *Dohnalek* [online]. Mladé buky: Dohnálek, 2009 [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: <https://www.dohnalek.cz/dokumenty/KL-AB21,AB31.pdf>
- [17] Aplikační manuál. *ABB* [online]. Trutnov: ABB, 2012 [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: https://library.e.abb.com/public/0f904438c7317b01c1257b500036486d/REF615_appl_757137_CZc.pdf
- [18] VÁHALA, Václav. *Ověření Vývodové ochrany ABB REF615* [online]. BRNO VUT FEKT, 2015 [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_ve-rejne.php?file_id=103617 . Bakalářská práce. VUT. Vedoucí práce Ing. David Topolánek, PhD.
- [19] Napětová ochrana V32. *Dohnalek* [online]. Mladé Buky: Dohnálek, 2009, 2009 [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: <https://www.dohnalek.cz/dokumenty/KL-V32DX0.pdf>
- [20] GSC,GSS Zemní směrová ochrana. *Dohnalek* [online]. Mladé Buky: Dohnálek, 1988 [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: <https://www.dohnalek.cz/dokumenty/KL-GSC12,GSS12.pdf>
- [21] BUKVIŠOVÁ, Zuzana, Viktor JURÁK a Vojtěch. *Rozvodná zařízení* [online]. BRNO VUT FEKT, 2018 [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: https://moodle.vutbr.cz/pluginfile.php/422232/mod_resource/content/4/Laboratorni-sb%C3%ADrka-BRZB.pdf. Výukový materiál. VUT.

PŘÍLOHY

Tabulka 20: Měřené hodnoty pro čas vybavení ochrany AT31 při zkratu pro 10 A při různém čase

Nezávislá ochrana AT31 při proudu fází 10 A				
Nastavená hodnota zpoždění	Měřený čas vybavení			
t_n	t_{mL1}	t_{mL2}	t_{mL3}	$t_{mL1,2,3}$
[ms]	[ms]	[ms]	[ms]	[ms]
bez	35,8	34,6	39,5	35,2
0,2	234,7	235,5	238,1	233,8
0,6	642,5	642,6	647	641,2
1	1045	1045	1048	1043
1,6	1637	1638	1642	1638
2	2045	2046	2052	2047
2,6	2,657	2,656	2660	2656
3	3048	3049	3053	3049

Tabulka 21: Měřené hodnoty pro čas vybavení ochrany AT31 při zkratu pro 15 A při různém čase

Nezávislá ochrana AT31 při proudu fází 15 A				
Nastavená hodnota zpoždění	Měřený čas vybavení			
t_n	t_{mL1}	t_{mL2}	t_{mL3}	$t_{mL1,2,3}$
[ms]	[ms]	[ms]	[ms]	[ms]
bez	33,8	31,3	43,4	30,4
0,2	230,4	232,8	239,4	233,3
0,6	638,2	642,4	648,4	639,2
1	1042	1042	1049	1040
1,6	1632	1633	1639	1632
2	2047	2046	2054	2045
2,6	2652	2648	2652	2652
3	3053	3052	3060	3052

Tabulka 22: Měřené hodnoty pro čas vybavení ochrany AT31 při zkratu pro 20 A při různém čase

Nezávislá ochrana AT31 při proudu fází 20 A				
Nastavená hodnota zpoždění	Měřený čas vybavení			
t_n	t_{mL1}	t_{mL2}	t_{mL3}	$t_{mL1,2,3}$
[ms]	[ms]	[ms]	[ms]	[ms]
bez	36,1	31,6	47,8	32,4
0,2	230,8	229,9	240,3	230,2
1	1047	1045	1056	1045
2	2048	2045	2058	2047
3	3049	3047	3060	3051

Tabulka 23: Měřené hodnoty času vybavení ochrany AT31 při zkratu pro 25 A při různém čase

Nezávislá ochrana AT31 při proudu fází 25 A				
Nastavená hodnota zpoždění	Měřený čas vybavení			
t_n	t_{mL1}	t_{mL2}	t_{mL3}	$t_{mL1,2,3}$
[ms]	[ms]	[ms]	[ms]	[ms]
bez	38,4	30,1	46,2	30,2
0,2	237,5	234,3	246,9	234,5
1	1049	1045	1058	1045
2	2037	2035	2050	2038
3	3037	3034	3046	3035

Tabulka 24: Měřené hodnoty času vybavení ochrany AT31 při zkratu pro 30 A při různém čase

Nezávislá ochrana AT31 při proudu fází 30 A				
Nastavená hodnota zpoždění	Měřený čas vybavení			
t_n	t_{mL1}	t_{mL2}	t_{mL3}	$t_{mL1,2,3}$
[ms]	[ms]	[ms]	[ms]	[ms]
bez	37,6	31,1	50,4	-
0,2	233,3	228,4	243,8	-
1	1047	1043	1055	-
2	2050	2044	2055	-
3	3044	3042	3046	-

Tabulka 25: Měřené hodnoty pro čas vybavení ochrany AT31 při zkratu pro 15 A při různém čase při 1,5·In

Nezávislá ochrana AT31 při proudu fází 15 A 1,5·In				
Nastavená hodnota zpoždění	Měřený čas vybavení			
t_n	t_{mL1}	t_{mL2}	t_{mL3}	$t_{mL1,2,3}$
[ms]	[ms]	[ms]	[ms]	[ms]
bez	34,4	44,7	38,3	32,2
1	1046	1051	1051	1046
2	2032	2037	2037	2030
3	3049	3054	3053	3049

Tabulka 26: Měřené hodnoty času vybavení ochrany REF615 při zkratu pro 10 A při různém čase

Nezávislá ochrana REF615 při proudu fází 10 A				
Nastavená hodnota zpoždění	Měřený čas vybavení			
t_n	t_{mL1}	t_{mL2}	t_{mL3}	$t_{mL1,2,3}$
[ms]	[ms]	[ms]	[ms]	[ms]
bez	29,9	26,7	24	30,4
0,2	203,5	198,2	201,5	233,3
0,6	601,2	599,2	598,6	600,6
1	1009	1008	1004	1040
1,6	1606	1608	1599	1598
2	1998	1998	1997	1999
2,6	2601	2597	2598	2602
3	3003	3002	3000	3002

Tabulka 27: Měřené hodnoty času vybavení ochrany REF615 při zkratu pro 15 A při různém čase

Nezávislá ochrana REF615 při proudu fází 15 A				
Nastavená hodnota zpoždění	Měřený čas vybavení			
t_n	t_{mL1}	t_{mL2}	t_{mL3}	$t_{mL1,2,3}$
[ms]	[ms]	[ms]	[ms]	[ms]
bez	28,1	25,4	22,6	30,4
0,2	208,7	197,7	202,9	233,3
0,6	602,3	599,5	602,2	602,2
1	999,1	999,2	997,5	1040
1,6	1599	1603	1601	1602
2	1999	1998	1999	2000
2,6	2599	2598	2599	2598
3	3002	3003	3002	3002

Tabulka 28: Měřené hodnoty času vybavení ochrany REF615 při zkratu pro 20 A při různém čase

Nezávislá ochrana REF615 při proudu fází 20 A				
Nastavená hodnota zpoždění	Měřený čas vybavení			
t_n	t_{mL1}	t_{mL2}	t_{mL3}	$t_{mL1,2,3}$
[ms]	[ms]	[ms]	[ms]	[ms]
bez	18,6	17,1	19,1	30,4
0,2	201,2	199,8	199,7	233,3
0,6	600,4	597,4	598,5	600,2
1	999,3	999	999,5	1040
1,6	1602	1598	1599	1598
2	1998	2001	1997	2045
2,6	2601	2602	2598	2601
3	2999	2998	2997	3002